ياكوف بيريلمان

الفيزياء المسلية

الكتاب الاول

الطبعة الثالثة

دار «مير» للطباعة والنشر موسكو ١٩٧٧

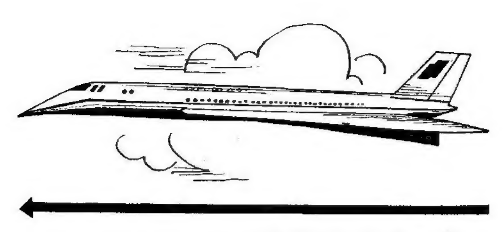
الفصل الاول | **السرعة . جمع الحركات**

بآية سرعة نتحرك ؟

ان العدّاء الجيّد يقطع مسافة قدرها ٥ر١ كم ، فى ٣ دقائق و ٥٠ ثانية (الرقم القياسى العالمى لعام ١٩٥٨ هو ٣ دقائق و ٨ر٣٦ ثانية) . وللمقارنة مع السرعة العادية للمشاة — ٥ر١ م فى الثانية — يجب القيام بعملية حسابية صغيرة . عندئذ يظهر ان العداء يقطع فى الثانية الواحدة ٧ امتار . وبالمناسبة ، فان هذه السرع غير ثابتة : اذ يستطيع الانسان ان يسير طويلا لعدة ساعات كاملة ، وان يقطع فى الساعة الواحدة ٥ كم . اما العداء ، فيستطيع المحافظة على سرعته الكبيرة لمدة قصيرة فقط . ان وحدة المشاة العسكرية ، تنتقل بخطوات سريعة ، ابطأ بثلاث مرات من سرعة العداء ، اذ تقطع فى الثانية الواحدة ٢ م ، او ما يزيد على ٧ كم فى الساعة الواحدة ، ولكنها تمتاز عن العداء ، بقابليتها لقطع مسافات اكبر كثيرا .

ومن الممتع ، مقارنة الخطوة العادية للانسان . بسرعة بعض الحيوانات البطيئة — التى يضرب بها المثل — كالقوقعة والسلحفاة . وقد اكدّت القوقعة تماما ، صحة ما يقوله عنها المثل : فهى تقطع ٥ر١ مم فى الثانية ، او ٤ر٥ م فى الساعة — اقل من الانسان بألف مرة تماما . ولا يستطيع الحيوان الآخر ، النموذجى فى البطء ، وهو السلحفاة ، ان يجرى بسرعة تزيد عن ٧٠ م فى الساعة .

والانسان الحثيث الخطى ، بالنسبة للقوقعة والسلحفاة ، يبدو فى عالم آخر ، اذا قارّنا حركته ، حتى ببعض الحركات غير السريعة جدا ، الموجودة فى الطبيعة المحيطة بنا . وهو ، والحق يقال ، يسبق مجرى الماء فى اكثر الانهار الجارية فى السهول



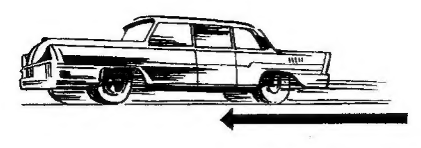
شكل ١ : طائرة ركاب سوفييتية نفاثة ماركة تو – ١٤٤ .

بسهولة ، ولا يتأخر كثيرا عن الرياح المعتدلة . ولكن الانسان يستطيع بنجاح مسابقة الذبابة ، التي تطير بسرعة ٥ م في الثانية ، ما لم يكن يتزلج على الثلج . وليس في استطاعة الانسان ان يسبق الارنب او كلب الصيد ، حتى لوكان على ظهر حصان سريع . ويستطيع مسابقة النسر ، بركوبه طائرة فقط .

ان المكنات التي اخترعها الانسان ، جعلت منه اسرع مخلوق على وجه الارض .

وقد تم في الاتحاد السوفييتي ، صنع سفن ركاب ذات اجنحة تحت سطح الماء (شكل ٣) ، تتراوح سرعتها بين ٦٠ و ٧٠ كم/ ساعة . ويستطيع الانسان ان يتحرك على الارض ، اسرع مما يتحرك على الماء . وفي الاتحاد السوفييتي ، تبلغ سرعة قطارات الركاب ، على كثير من خطوط السكك الحديدية ١٤٠ كم/ ساعة . وتصل سرعة سيارة الركاب « تشايكا » ، التي تحتوي على سبعة مقاعد ، الى ١٦٠ كم/ ساعة (شكل ٢) . اما سرعة الطيران الحديث ، فقد فاقت كافة السرع المذكورة كثيرا .

وفي الاتحاد السوفييتي ، وكذلك في عدد من الدول الاخرى ، تعمل على الخطوط الجوية المدنية ، طائرات ركاب سوفييتية نفاثة كثيرة المقاعد ، من طراز تو – ١٠٤ وتو – ١١٤ وال – ١٨ وال – ٦٢ وغيرها . ويتراوح معدل سرعة طيرانها بين ٨٠٠ –



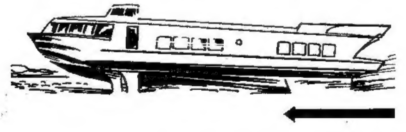
شكل ٢ : سيارة ركاب سوفييتية « تشايكا »

١٠٠٠ كم / ساعة . ومنذ وقت غير بعيد ، وضع المصممون امامهم ، مسألة اختراق « الحاجز الصوتى » والانطلاق بسرعة تزيد على سرعة الصوت (٣٣٠ م/ثانية ، اى ١٢٠٠ كم/ ساعة) . وقد تمّ فى الوقت الحاضر حل هذه المسألة . ان سرعة الطائرات الحربية — لا المقاتلة فحسب ، بل وقاذفات القنابل ايضا — تفوق سرعة الصوت بثلاث او اربع مرات .

وقد تم فى الاتحاد السوفييتى صنع طائرات ركاب ، تفوق سرعتها سرعة الصوت .

ويمكن ان تصل سرعة الاجهزة التى اخترعها الانسان ، الى اكثر مما ذكرناه .

لقد اطلق القمر الصناعى السوفييتى الاول ، بسرعة ابتدائية بلغت حوالى ٨ كم / ثانية . وسرعان ما زيدت سرعة الصواريخ الفضائية السوفييتية ، المنسماة بالسرعة الكونية الثانية ، فبلغت فوق سطح الارض ٢ر١١ كم / ثانية ، الامر الذى مكنّها من الوصول الى القمر ، ومن ثم الى الزهرة والمرّيخ .



شكل ٣ : سفينة ركاب سريعه ذات أجنحة تحت سطح الماء .

ونقدم فيما يلي ، جدولا للسرع المختلفة ، لكي يطلع عليه القارئ :

القوقعة	١,٥ مم/ثانية	٥,٤ م/ساعة
السلحفاة	٢٠ مم/ثانية	٧٠ م/ساعة
السمكة	١ م/ثانية	٣,٥ كم/ساعة
الانسان السائر على قدميه	١,٤ م/ثانية	٥ كم/ساعة
الفرس بخطوات عادية	١,٧ م/ثانية	٦ كم/ساعة
الفرس ، بخطوات سريعة	٣,٥ م/ثانية	١٢,٦ كم/ساعة
الذبابة	٥ م/ثانية	١٨ كم/ساعة
الانسان المتزلج على الثلج	٥ م/ثانية	١٨ كم/ساعة
الفرس السريع	٨,٥ م/ثانية	٣٠ كم/ساعة
سفينة ذات اجنحة تحت سطح الماء	١٦ م/ثانية	٥٨ كم/ساعة
الارنب	١٨ م/ثانية	٦٥ كم/ساعة
النسر	٢٤ م/ثانية	٨٦ كم/ساعة
كلب الصيد	٢٥ م/ثانية	٩٠ كم/ساعة
القطار	٢٨ م/ثانية	١٠٠ كم/ساعة
سيارة سباق (الرقم القياسي)	١٧٤ م/ثانية	٦٣٣ كم/ساعة
طائرة من طراز تو- ١٠٤	٢٢٠ م/ثانية	٨٠٠ كم/ساعة
الصوت في الهواء	٣٣٠ م/ثانية	١٢٠٠ كم/ساعة
طائرة نفاثة اسرع من الصوت	٥٥٠ م/ثانية	٢٠٠٠ كم/ساعة
السرعة المدارية للارض	٣٠٠٠٠ م/ثانية	١٠٨٠٠٠ كم/ساعة

سباق مع الزمن

هل يمكننا الطيران من مدينة فلاديفستوك في الساعة الثامنة صباحا ، والوصول الى مدينة موسكو في الساعة الثامنة من صباح نفس اليوم ؟ ليس هذا السؤال عديم المعنى بتاتا . نعم ، يمكننا ذلك . ولكي نفهم هذا الجواب ، يجب فقط ان تتذكر ان الفرق بين توقيت مدينتي فلاديفستوك وموسكو ، يبلغ تسع ساعات . فاذا استطاعت الطائرة

قطع المسافة بين فلاديفستوك وموسكو في ذلك الزمن ، لوصلت موسكو في نفس الساعة التي اقلعت فيها من فلاديفستوك .

وتبلغ المسافة بين فلاديفستوك وموسكو ، حوالى ٩٠٠٠ كم . وهذا يعني ان سرعة الطائرة يجب ان تساوى $\frac{٩٠٠٠}{٩}$ = ١٠٠٠ كم /ساعة . وفي الظروف الراهنة ، يمكننا بسهولة الوصول الى مثل هذه السرعة .

ولكي « نسبق الشمس » (او الارض بالاحرى) ، عند خطوط العرض القطبية ، نحتاج الى سرعة قليلة جدا . فعند خط العرض ٧٧ (فوق المنطقة المسماة نوفايا زيمليا) ، تقطع الطائرة التي تبلغ سرعتها حوالى ٤٥٠ كم / ساعة ، نفس المسافة التي تقطعها نقطة معينة فوق سطح الارض ، اثناء دوران الارض حول محورها ، في نفس الفترة من الزمن . وبالنسبة لراكب مثل هذه الطائرة ، تكون الشمس واقفة . وتبقى معلقة في السماء بلا حراك ، دون ان تميل الى المغيب (وعند ذلك ، بالطبع ، يجب ان تتحرك الطائرة في الاتجاه الملائم) . والأسهل من ذلك ، ان « نسبق القمر » في دورانه الذاتي حول الارض . ان سرعة دوران القمر حول الارض ، ابطأ بتسع وعشرين مرة من سرعة دوران الارض حول محورها (تتم المقارنة ، بالطبع ، بتلك السرع التي تسمى بالسرع « الزاوّية » وليس بالسرع الخطيّة) . ولهذا السبب ، تستطيع الباخرة التي تتراوح سرعتها بين ٢٥ و ٣٠ كم / ساعة ، ان « تسبق القمر » عند خطوط العرض المتوسطة .

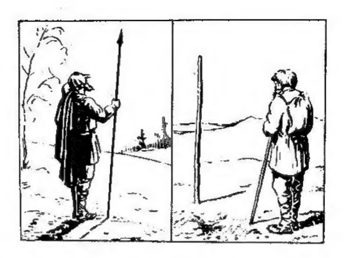
وقد ذكر مارك توين هذه الظاهرة ، في مقالاته المعنونة « بلهاء في الخارج » . اثناء رحلة عبر المحيط الاطلسي ، من مدينة نيويورك الى الجزر الخالدة « كان الجو صيفيا رائعا ، وكان الليل اجمل من النهار . لاحظنا ظاهرة غريبة ، هي ظهور القمر في نفس النقطة من السماء ، وفي نفس الوقت من كل مساء . وفي بداية الامر ، بقي تصرف القمر بهذا الشكل الغريب ، لغزا محيرا بالنسبة لنا ، ولكننا ادركنا السبب فيما بعد : لقد كنا نوفر كل يوم عشرين دقيقة من الوقت ، لاننا كنا نسير بسرعة نحو الشرق ، اى ربحنا من الوقت في كل يوم ، ما يكفينا للحاق بالقمر » .

جزء من الف من الثانية

ان جزءا من الف من الثانية ، لا يعنى اىّ شيء ، بالنسبة للانسان الذى اعتاد على قياس الزمن بمقاييسه المألوفة . ان مثل هذه الفترات الزمنية ، اخذت تصادفنا فى حياتنا العملية ، منذ وقت قريب فقط . وعندما عين الاقدمون الوقت ، تبعا لارتفاع الشمس او لطول الظل ، لم يكن هناك مجال للحديث عن الدقة ، حتى لحد الدقيقة (شكل ٤) . فقد اعتبر الناس الدقيقة ، زمنا من الضآلة بمكان ، بحيث تنتفى الحاجة الى قياسه . لقد عاش الاقدمون حياة متوانية ، بحيث لم تحتو ساعاتهم — الشمسية والمائية والرملية — على تقاسيم خاصة بالدقائق (شكل ٥) . اما عقرب الدقائق ، فقد ظهر على الساعة لاول مرة ، فى مطلع القرن الثامن عشر . كما ظهر عقرب الثوانى فى مطلع القرن التاسع عشر .

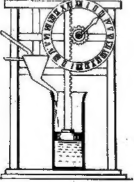
ما الذى يمكننا ان نفعله فى جزء من الف من الثانية ؟ اشياء كثيرة ! فالقطار ، يستطيع خلال هذه الفترة الزمنية ، ان يقطع مسافة لا تزيد فى الحقيقة على ثلاثة سنتمترات فقط ؛ ويقطع الصوت مسافة قدرها ٣٣ سم ؛ وتقطع الطائرة مسافة تقدر بنصف متر تقريبا ؛ وتقطع الارض اثناء دورانها حول الشمس ، مسافة قدرها ٣٠ م ؛ اما الضوء فيقطع مسافة تبلغ ٣٠٠ كم .

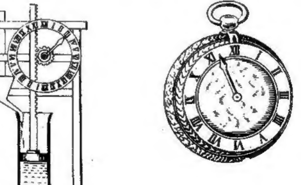
ولو كان باستطاعة الحشرات المحيطة بنا ، ان تناقش الامور ، لكان من المحتمل الا تعتبر هذا الجزء من الالف من الثانية ، زمنا لا قيمة له . اذ ان قيمته ملموسة تماما لدى الحشرات . ان البعوضة تخفق بجناحيها ، ما يتراوح بين ٥٠٠ و٦٠٠ مرة فى الثانية ؛ و هذا يعنى ان البعوضة تستطيع فى فترة جزء من الف من الثانية ، ان ترفع جناحيها او تخفضهما . اما الانسان ، فلا يستطيع تحريك اعضائه ، بمثل هذه السرعة ، كما تفعل البعوضة . ان اسرع حركة لدينا ، هى طرفة العين « غمزة العين » او « اللحظة » ، فى مفهومها الاساسى . وهى تتم بسرعة كبيرة ، بحيث لا نشعر معها ، حتى بانقطاع الرؤيا ، الوقتى . ولكن البعض يعرف ان هذه الحركة — التى تعنى سرعة لا يمكن



شكل ٤ : تعيين الوقت تبعا لموقع الشمس فى السماء (الرسم الايسر) ، وتبعا لطول الظل (الرسم الايمن) .

التعبير عنها – تحدث بصورة بطيئة نوعا ما ، اذا ما قيست باجزاء من الف من الثانية . فقد سجلت المقاييس الحساسة ، ان « طرفة العين » باكملها ، نستغرق فى المعدل $\frac{٢}{٥}$ ثانية ، اى ٤٠٠ جزء من الف من الثانية . وتتم هذه العملية ، على عدة مراحل ،





شكل ٥ : ساعة مائية كانت تستخدم فى العصور القديمة (الرسم الايسر) . ساعة جيب قديمة (الرسم الايمن) . ونلاحظ عدم وجود عقرب الدقائق فى كلتا الساعتين المذكورتين .

كما يلي : اولا ، اطباق الجفنين ، ويأخذ من الوقت ما يتراوح بين ٧٥ و٩٠ جزءا من الف من الثانية ؛ ثانيا ، سكون الجفن المطبق وعدم تحركه ، ويستغرق ما يتراوح بيم ١٣٠ و ١٧٠ جزءا من الف من الثانية ؛ ثالثا ، فتح الجفنين ، ويستغرق حوالى ١٧٠ جزءا من الف من الثانية . وكما نرى ، فان « طرفة العين » الواحدة ، بالمعنى الحرفى لهذه الكلمة ، هى فترة زمنية كبيرة نوعا ما ، حتى ان جفن العين يستطيع خلالها الراحة قليلا .

ولو استطعنا ان نتخيل الصور المستقلة لما يحدث خلال جزء من الف من الثانية ، لرأينا « فى طرفة العين الواحدة » حركتين سلستين لجفن العين ، تفصلهما فترة استراحة .

ولو كان جهازنا العصبى مركبا بهذا الشكل ، لرأينا العالم المحيط بنا متغيرا كلّ التغيّر . وقد قام الكاتب الانكليزى ويلز بوصف تلك الصور الغريبة ، التى كنا سنراها عندئذ بأعيننا ، وذلك فى قصته « احدث معجّل » . لقد تناول ابطال القصة دواء وهميا ، يؤثر على الجهاز العصبى ، بحيث يجعل اعضاء الحسّ سريعة التأثر بسلسلة الظواهر السّريعة الحدوث . وهذه عدة امثلة من القصة :

« — هل رأيت حتى الآن ، ستارة معلقة على النافذة بهذا الشكل ؟

نظرت الى الستارة ، فوجدت انها جامدة ، وكانت زاويتها التى انثنت بتأثير الريح، ثابتة فى وضعها الاخير . فقلت له

— لم ار مثل ذلك ابدا ، يا للغرابة ؟ !

— وهل رأيت مثل هذا ؟

قال ذلك وبسط راحة يده التى تحمل القدح .

وتوقعت ان يتحطم القدح ، ولكنه حتى لم يتزحزح ، اذ تعلق فى الهواء بلا حراك .

وقال جيبيرن مواصلا الحديث :

— انك تعلم بالطبع ان الجسم الساقط ، يقطع فى الثانية الاولى مسافة ٥ م. والآن

يقطع القدح الامتار الخمسة هذه فى حين لم يمض حتى الآن جزء من مائة من الثانية * .
وبامكانك الآن تقدير قوة « معجلى » .

ثم هبط القدح ببطء ، وتلمسه جيبيرن ، من كافة جوانبه .

ونظرت من النافذة ، فرأيت راكب دراجة عادية ، جامدا فى محله ، وخلفه غبار كثيف جامد ، وهو يحاول اللحاق بعربة خيول صغيرة ، جامدة فى محلها ايضا .

ولفتت انتباهنا حافلة لنقل الركاب ، وهى جامدة تماما كالصخرة . وكانت اطارات العجلات وقوائم الخيول ، وطرف السوط ، والفك السفلى للحوذى (الذى بدأ توّا بالتثاؤب) — كلها تتحرك ، ولو بصورة بطيئة . اما بقية محتويات تلك الحافلة ، فقد جمدت تماما . وكان الركاب الجالسون بداخلها ، اشبه بالتماثيل .

وقد جمد احد الاشخاص ، بالضبط فى تلك اللحظة ، التى بذل فيها قوة خارقة للعادة ، لكى يطوى جريدته بوجه الريح . ولكن لم يكن للريح وجود بالنسبة لنا . ان كل ما قلته وفكرت فيه وفعلته ، منذ اللحظة التى تغلغل فيها « المعجل » فى جسمى ، لم يكن الا طرفة عين بالنسبة لبقية البشر كافة ، وللكون باجمعه » .

وربما سيكون من الممتع بالنسبة للقراء ، ان يطلعوا على اقل فترة زمنية يمكن قياسها بأحدث الاجهزة العلمية ! لقد بلغت هذه الفترة الزمنية ، فى مطلع القرن العشرين ، جزءا من عشرة الاف من الثانية ، اما الآن فيستطيع الفيزيائى فى مختبره ، ان يقيس زمنا يساوى جزءا من مائة مليار ($\frac{١}{١٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠٠}$) من الثانية . ان هذه الفترة الزمنية تقل عن الثانية الواحدة ، بنفس المقدار الذى تقل فيه الثانية الواحدة عن ٣٠٠٠ سنة .

---

* فيما يتعلق بذلك ، يجب ان نأخذ فى الاعتبار ، ان الجسم الساقط لا يقطع فى اول جزء من مائة من الثانية الاولى ، مسافة تساوى جزءا من مائة من الخمسة امتار ، انما يقطع جزءا من عشرة آلاف جزء منها (بموجب الصيغة م = $\frac{١}{٢}$ ك ن٢) ، اى نصف مليمتر ، ويقطع فى اول جزء من الف من الثانية ، مسافة $\frac{١}{١٠٠}$ مم فقط .

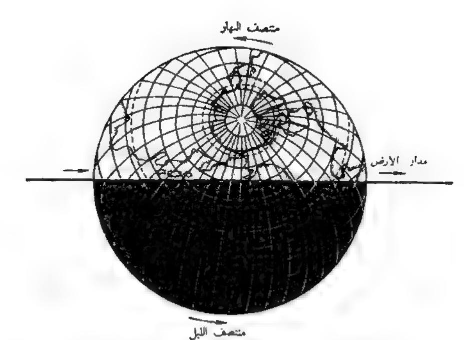
آلة تصوير الحركة البطيئة

حينما كتب ويلز قصته «احدث معجل» ، لم يكن يفكر على الاغلب ، فى ان شيئا من هذا القبيل سيتحقق يوما ما بالفعل . ولكنه على كل حال ، عاش الى ان استطاع ان يرى بأم عينيه — على الشاشة البيضاء فقط — تلك الصور التى ابتكرتها مخيلته فى وقت ما . ان ما يسمى « آلة تصوير الحركة البطيئة » ترينا على الشاشة البيضاء ، بحركة بطيئة ، ظواهر عديدة ، تحدث عادة بسرعة كبيرة .

ان «آلة تصوير الحركة البطيئة» هى عبارة عن آلة تصوير سينمائية ، تلتقط فى الثانية الواحدة ، عددا من الصور ، يزيد كثيرا عن عدد ما تلتقطه آلات التصوير السينمائية العادية ، البالغ ٢٤ صورة . وعندما نصور احدى الظواهر بهذه الطريقة ، ونعرض الفيلم على الشاشة البيضاء بسرعة عادية (٢٤ صورة فى الثانية) ، نرى ان الظاهرة تستغرق وقتا اكبر من وقتها الطبيعى بكثير . وربما يكون القارئ قد شاهد على الشاشة البيضاء ، بعض القفزات التى تحدث بسلاسة غير طبيعية ، وغير ذلك من الظواهر البطيئة . ويمكن بمساعدة آلات تصوير اكثر تعقيدا ، الحصول على حركات ابطأ بكثير ، تذكرنا تقريبا ، بما جاء فى قصة ويلز .

متى ندور حول الشمس اسرع — نهارا ام ليلا ؟

ظهر على صفحات الجرائد الباريسية ، فى يوم ما ، اعلان يعرض على كل قارئ طريقة للقيام برحلة رخيصة ومريحة ، لا تكلفه اكثر من ٢٥ سنتيما (أى ربع فرنك) . وقد صدّق بعض المغفلين ، ذلك الاعلان ، وحوّلوا المبلغ المطلوب . وبعد ذلك استلم كل منهم رسالة جوابية جاء فيها : « سيدى ، يرجى ان تبقى هادئا فى سريرك ، وتذكر ان الارض تدور . فعند خط العرض ٤٩ — الذى تقع عليه باريس — تقطع سيادتك فى اليوم الواحد ، اكثر من ٢٥٠٠٠ كم . واذا كنت من عشاق المناظر الجميلة ، ازح ستائر النافذة ، وافتتن بالسماء المرصعة بالنجوم » .



شكل ٦ : عند وجودنا على النصف المعتم من الكرة الارضية ، تكون حركتنا حول الشمس ، اسرع مما هي عليه عند وجودنا على النصف المضاء .

وعندما قدّم المتهم بتدبير هذه الحيلة الى المحكمة ، وسمع الحكم الصادر بحقه ، ودفع الغرامة المستحقة عليه ، وقف وقفة مسرحية وراح يردد كالمنتصر ، الجملة الشهيرة التي هتف بها غاليليو :

ــ ومع ذلك ، فان الارض تدور !

لقد كان المتهم محقا ، كما هو معروف ، لان كل من يقطن الكرة الارضية ، لا « يتجول » بالدوران حول محور الارض فحسب ، بل تنقله الارض بسرعة اكبر عند دورانها حول الشمس .

ان الارض مع كافة قاطنيها ، تقطع في كل ثانية مسافة ٣٠ كم في الفراغ ، وهي في نفس الوقت تدور حول محورها .

ويمكن بهذا الصدد ، طرح السؤال الطريف التالي : متى ندور حول الشمس اسرع — نهارا ام ليلا ؟

انه سؤال محيّر : فدائما يكون في احد نصفي الكرة الارضية ، نهار ، وفي النصف الآخر ، ليل ؛ فاى معنى لهذا السؤال ؟ لا معنى له في الظاهر .

ولكن الامر ليس كذلك . فنحن لا نسأل متى تتحرك الارض برمتها حركة اسرع ، ولكن السؤال هو متى نتحرك نحن الذين نعيش على سطحها ، حركة اسرع وسط الكواكب . وهذا السؤال ليس بدون معنى بتاتا . اننا في المنظومة الشمسية ، نقوم بحركتين : ندور حول الشمس ، وفي نفس الوقت ندور حول محور الارض . وكلتا الحركتان تجمعان ، الا ان النتيجة تختلف ، تبعا لنصف الكرة الارضية ، الذى نقع عليه ، هل هو النصف المظلم ام هو النصف المضاء بنور الشمس .

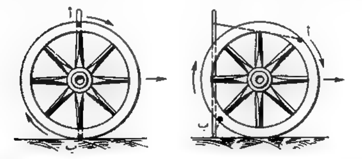
واذا نظرت الى الشكل ٦ ، ستعلم ان سرعة الدوران تضاف الى السرعة الانتقالية للارض عند منتصف الليل ، اما عند منتصف النهار ، فعلى العكس ، تطرح سرعة الدوران من السرعة الانتقالية . وهذا يعني اننا في المنظومة الشمسية ، نتحرك عند منتصف الليل ، اسرع مما نتحرك عند منتصف النهار . وبما ان نقاط خط الاستواء تقطع في الثانية الواحدة ، حوالى نصف كيلومتر ، فان الفرق بين السرعة عند منتصف النهار والسرعة عند منتصف الليل ، يصل في منطقة خط الاستواء الى كيلومتر واحد في الثانية .

لغز عجلة العربة

الصق قطعة ورق ملون ، على جانب اطار عجلة العربة (او عجلة الدراجة الهوائية) ، وتتبع ما يحدث لها عندما تدور العجلة . سترى ظاهرة غريبة : تتميز الورقة الملونة بوضوح عند وقوعها في القسم السفلي من الاطار الدوّار . اما عند وقوعها في القسم العلوى منه ، فانها تمر بسرعة كبيرة ، حتى لا تكاد العين تميزها .

ويظهر من ذلك ، كأن القسم العلوى من العجلة يتحرك اسرع من القسم السفلى . ويمكن ملاحظة نفس الظاهرة ، اذا قارنا بين البرامق السفلى والبرامق العليا لعجلة دوّارة في عربة ما . وسنرى البرامق العليا ، وكأنها مندمجة في جسم واحد متماسك . اما البرامق السفلى فتبدو بصورة منفردة . لقد تكرر حدوث نفس الشيء بالذات ، كما لو ان القسم العلوى من العجلة يتحرك اسرع من القسم السفلى .

اين يكمن اذن لغز هذه الظاهرة الغريبة ؟ ان المسألة بسيطة وليس هناك اى لغز . اذ ان القسم العلوى من العجلة الدوارة ، يتحرك في الحقيقة ، اسرع من القسم السفلى . ان هذه الحقيقة تبدو للوهلة الاولى مستحيلة . ولكننا نقتنع بها بعد نقاش بسيط . ان كل نقطة من نقاط العجلة الدّوارة ، تقوم بحركتين في وقت واحد : تدور حول المحور ، وفي نفس الوقت تتحرك الى الامام مع ذلك المحور . ان ما يحدث للعجلة هنا ، شبيه بما يحدث للارض ، فعند جمع الحركتين ، تختلف النتيجة في القسم العلوى للعجلة ، عما هى عليه في القسم السفلى . ففى اعلى العجلة الدوارة ، تضاف حركة الدوران الى الحركة الانتقالية ، وذلك لانهما في اتجاه واحد ، اما في اسفل العجلة الدوارة ، فتكون حركة الدوران ، عكس الحركة الانتقالية . لذا ، فانها تطرح من الاخيرة . ومن هنا يتضح سبب تحرك القسم العلوى للعجلة ، اسرع من القسم السفلى ، بالنسبة للمراقب الذى لا يتحرك .



شكل ٧ اذا قارنا بين بعدى نقطتى العجلة المتدحرجة أ و ب (الرسم الايمن) عن لعص الثابتة ، لاتضح لنا بأن قسم العجلة العلوى يتحرك اسرع من القسم السفلى .

ويتم ادراك هذه الحقيقة بسهولة ، وذلك بتجربة بسيطة يمكن اجراؤها في الوقت المناسب . اغرز عصا في الارض ، بالقرب من عجلة ، بحيث تنتصب العصا مقابل المحور . ثم خذ قطعة من الطباشير او الفحم ، وضع علامتين في اعلى واسفل قسمين من اقسام اطار العجلة ، بحيث تكونان مقابل العصا تماما . والآن ، دحرج العجلة قليلا الى اليمين (شكل ٧) ، بحيث يبتعد محورها عن العصا ، بمسافة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ سم ، ولاحظ كيف تغيّر وضع العلامتين . يتضح ان العلامة العليا أ ، قد قطعت مسافة اكبر ، مما قطعته العلامة السفلى ب ، التى لم تكد تبتعد عن العصا الا قليلا .

ابطأ قسم في العجلة

وهكذا ، فان كافة نقاط العجلة الدوارة ، لا تتحرك بسرعة واحدة . اذن ، فاى قسم من اقسام العجلة الدوارة ، يتحرك ابطأ من بقية الاقسام ؟ ليس من الصعب ، ان نتصور ، ان ابطأ النقاط حركةً ، هي نقاط العجلة ، التى تكون في لحظة معينة ، ملامسة للارض . وبكلمة ادق ، تكون تلك النقاط عند ملامستها للارض ، ساكنة تماما .

ان كل ما ذكرناه آنفا ، ينطبق فقط على العجلة المتدحرجة ، ولا ينطبق على العجلة التى تدور على محور ثابت . مثلا ، في العجلة الحذّافة ، تتحرك النقاط العليا والسفلى للاطار بسرعة واحدة .

مسألة وليست نكتة

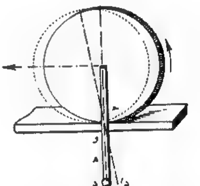
لنبحث الآن مسألة ، لا تقل طرافة عن سابقتها : هل توجد في القطار الذاهب من لينينغراد الى موسكو مثلا ، نقاط . تتحرك عكسيا بالنسبة للسكة الحديدية ، اى من موسكو الى لينينغراد ؟

يظهر ان مثل هذه النقاط موجودة دائما ، على كل عجلة من عجلات القطار . ولكن اين تقع هذه النقاط ؟

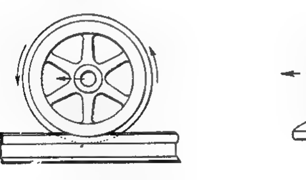
من البديهي ان لعجلة القطار حتارا بارزا (شفة الاطار الخارجي) ، والظاهر ان النقاط السفلى لهذا الحتار البارز ، لا تتحرك بنفس اتجاه حركة القطار ، بل بعكسها تماما . ويمكن التأكد من ذلك ، باجراء التجربة التالية : الصق بواسطة الشمع عود ثقاب بقرص صغير ، مثلا ، بقطعة نقدية او بزّر من ازرار الملابس ، بحيث ينطبق العود على نصف قطر القرص ، ويبرز عن حافته كثيرا . والآن اذا جعلنا القرص (شكل ٨) يرتكز على حافة مسطرة ، في النقطة ج ، وبدأنا بدحرجة القرص من اليمين الى اليسار ، نرى ان نقاط القسم البارز من العود ، وهي و ، ه ، د ، لا تتحرك الى الامام ، بل الى الوراء . وكلما كانت النقطة بعيدة عن حافة القرص ، كلما كانت حركتها الى الوراء اوضح ، عند دحرجة القرص (تتحول نقطة د الى دَ) .

ان نقاط الحتار البارز لعجلة القطار ، تتحرك مثلما يتحرك القسم البارز من عود الثقاب في تجربتنا هذه .

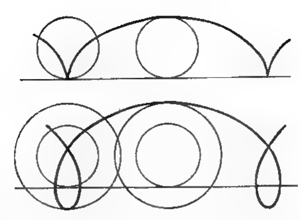
اذن ، سوف لا يثير دهشتكم الآن ، احتواء القطار على نقاط تتحرك عكس حركته .



شكل ٨ : تجربة القرص وعود الثقاب . عندما يتدحرج القرص نحو اليسار ، تتحرك نقط الجزء البارز من العود و ، ه ، د في الاتجاه المعاكس .



شكل ٩ : عندما تتحرك عجلة القطار الى اليسار ، يتحرك القسم السفلي لاطارها الى اليمين ، أي في الاتجاه المعاكس .



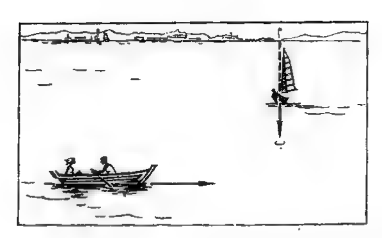
شكل ١٠ : يبين الرسم العلوى ، ذلك المنحنى الذى ترسمه كل نقطة من نقاط اطار عجلة العربة المتحركة . ويبين الرسم السفلى ، المنحنى الذى ترسمه كل نقطة من نقاط اطار عجلة القطار .

وفي الحقيقة ، ان هذه الحركة لا تستغرق سوى جزءا مهملا من الثانية ، ولكن على اىّ حال ، فان الحركة المعاكسة لسير القطار ـ موجودة ، على الرغم من تصوراتنا العادية . والشكلان ٩ و ١٠ يوضحان ذلك .

من اى اتجاه اتى القارب

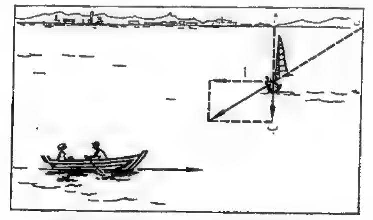
تصور ان قارب تجديف معين يطفو على سطح بحيرة ، بحيث يمثل السهم أ (شكل ١١) اتجاه وسرعة حركة القارب . وهناك قارب شراعى يسير باتجاه يقطع اتجاه قارب التجديف ، ويمثل السهم ب اتجاه وسرعة القارب الشراعى . فاذا سئل القارئ من اية جهة أتى القارب الشراعى ، لأشار فى الحال الى النقطة م ، الواقعة على الشاطئ . واذا سئل راكب القارب الشراعى ، نفس السؤال ، لأشار الى نقطة اخرى تماما . فلماذا ؟

ان السبب فى ذلك ، هو ان الراكب لا يرى ان القارب يشكل عند سيره زاوية قائمة ، مع الممر المقرر ان يسلكه. ان الراكب ، لا يشعر طبعا بحركته الذاتية : اذ



شكل ١١ : ان طريق القارب الشراعى يقطع طريق قارب التجديف . ويشير كل من السهمين أ و ب الى سرعتى القاربين . ما الذى سيراه المجدفون ؟

يبدو له ، انه واقف فى مكانه ، بينما تتحرك الاشياء المحيطة به ، بنفس سرعة حركته الذاتية ، ولكن فى الاتجاه المعاكس .. لذلك ، يبدو له ان القارب الشراعى لا يتحرك فى اتجاه السهم ب ، فقط ، بل كذلك فى اتجاه الخط المنقط أ ، عكس حركة قارب



شكل ١٢ : سوف يظن المجدفون بأن طريق القارب الشراعى لا يتقاطع مع طريقهم ، بل ينحرف عنه ، كما لو كان القارب الشراعى قادما من النقطة ن لا من النقطة م .

التجديف (شكل ١٢) . ان هاتين الحركتين — الحقيقية والظاهرة — تجمعان حسب قاعدة متوازى الاضلاع . ونتيجة لذلك ، يبدو لراكب قارب التجديف ، وكأنّ القارب الشراعى يتحرك على القطر المتوازى الاضلاع ، المرسوم من المستقيمين أ و ب . ولهذا السبب ايضا ، يبدو للراكب ان القارب الشراعى لم يبدأ مسيره من النقطة م ، الواقعة على الشاطئ ، لكنه بدأ المسير من نقطة اخرى ، هى النقطة ن ، الواقعة بعيدا الى الامام ، باتجاه حركة القارب الشراعى (شكل ١٢) .

وعند دوراننا مع الارض حول مدارها ، ورؤيتنا لضياء الكواكب ، فاننا نحدد مصدر الضياء بصورة غير صحيحة ايضا ، كما يحدد راكب قارب التجديف ، النقطة التى اتجه منها القارب الشراعى . ولذلك تبدو لنا الكواكب ، وكأنها قد ازيحت قليلا الى الامام ، باتجاه حركة الارض المدارية . وبالطبع ، فان سرعة دوران الارض ، ذات قيمة مهملة ، بالمقارنة مع سرعة الضوء (اقل من سرعة الضوء بعشرة آلاف مرة) ؛ لذلك تكون الازاحة الظاهرة للكواكب ، قليلة جدا . لكننا نستطيع تحديدها بواسطة الاجهزة الفلكية . وتسمى هذه الظاهرة بزيَغان الضوء .

واذا كان القارئ مهتما بمثل هذه المسائل ، فليحاول الاجابة على السؤالين التاليين ، المتعلقين بمسألة القارب :

١ — باىّ اتجاه يسير قارب التجديف ، من وجهة نظر راكب القارب الشراعى ؟

٢ — الى اين يتجه قارب التجديف ، كما يتراءى لراكب القارب الشراعى ؟

للاجابة على هذين السؤالين ، يجب على القارئ ان يرسم من المستقيم أ (شكل — ١٢) متوازى اضلاع السرع . عندئذ سيبين قطر متوازى الاضلاع هذا ، انه يبدو من وجهة نظر راكب القارب الشراعى ، ان قارب التجديف يسير فى اتجاه مائل ، وكأنه يتهيأ للرسو على الشاطئ .

الفصل الثانى | الثقل والوزن .العتلة . الضغط

حاول ان تنهض !

ستظن انني امزح معك ، اذا قلت لك : ساجلسك على الكرسي ، بحيث لا تستطيع النهوض بعد ذلك ، علما بانني لن اربطك اليه .

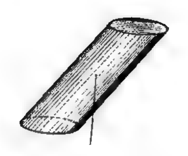
حسنا ، اجلس كما يجلس الفتى الظاهر في الشكل ١٣ ، اى بصورة معتدلة ، دون ان تدفع قدميك تحت الكرسي . والآن ، حاول ان تنهض ، مع المحافظة على وضع القدمين وعدم الانحناء الى الامام . انك لن تستطيع النهوض مهما بذلت من قوة عضلية ، ما لم تدفع قدميك تحت الكرسي ، او تحنى جذعك الى الامام .



شكل ١٣ : لا يستطيع الشخص الجالس بهذه الطريقة ، ان ينهض على قدميه .

ولكي تدرك سبب ذلك ، دعني احدثك بعض الشيء عن توازن الاجسام بصورة عامة ، وتوازن جسم الانسان بصورة خاصة . ان الجسم المنتصب لا ينقلب على الارض بتاتا ، اذا كان الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، مارا بقاعدته . ولذلك ، فان الاسطوانة (شكل ١٤) لا بد وان تنقلب ؛ الا اذا كانت مساحة قاعدتها اكبر ، بحيث يمر من خلالها الخط العمودى النازل من مركز ثقل الاسطوانة .

ان برجى بيزا وبولون المائلين ، او حتى برج الجرس المائل ، في مدينة ارخانجلسك



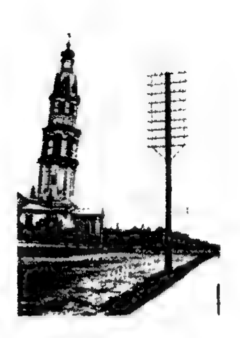
شكل ١٤ : ان هذه الاسطوانة يجب ان تنقلب على الارض ، لان الخط العمودى النازل من مركز ثقلها ، لا يمر بقاعدتها .



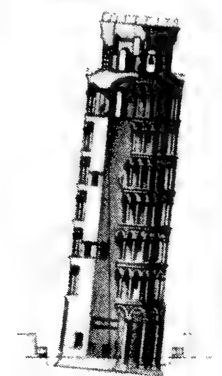
شكل ١٦ : عندما يكون الشخص واقفا ، فان الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، يمر ضمن المساحة المحددة بالحافات الخارجية لقدميه .

السوفييتية (شكل ١٥) لا تنقلب بالرغم من ميلانها ، لنفس السبب ايضا . وهو عدم خروج الخط العمودى النازل من مركز ثقلها ، عن حدود القاعدة (وهناك سبب آخر ثانوى ، هو عمق اسس تلك الابراج .

والشخص الواقف ، لا يقع على الارض ، الى ان يخرج الخط العمودى النازل من مركز ثقله ، عن المساحة المحاطة بالحافات الخارجية لقدميه (شكل ١٦) . لذلك ، فمن الصعب الوقوف على قدم واحدة ؛ ومن الاصعب كثيرا ، الوقوف على الحبل لان القاعدة تكون صغيرة جدا ، ويمكن بسهولة ان يخرج الخط العمودى عن حدودها . هل لاحظت المشية الغريبة « لذئاب البحر » المتقدمة فى العمر ؟ ان البحارة ، وهم يقضون حياتهم على ظهر سفينة متأرجحة ، حيث يتعرض الخط العمودى النازل من مركز ثقل الجسم ، فى كل لحظة ، للخروج عن الفسحة التى تشغلها القدمان ، يتعوّدون على السير ، بحيث تشغل قاعدة الجسم (اى الساقان المتباعدتان) ، اكبر فسحة ممكنة . وهذا يساعد البحارة على الوقوف بثبات على السطح المتأرجح . ومن الطبيعى ان يحتفظ البحارة بهذه العادة ، حتى عندما يسيرون على اليابسة . ويمكن كذلك ، ان نأتى بمثال عكسى ، هو انه تنجم عن ضرورة محافظة الانسان على توازنه ، وضعية



شكل ١٥ : برج ارخانجلسك المائل (فى الاعلى)
وبرج بيزا المائل (فى الاسفل)



جميلة . هل لفت نظرك ، ذلك المنظر الغريب ، للشخص الذى يحمل على رأسه حملا؟
عندما يحمل الشخص حملا على رأسه ، يضطر الى تصب رأسه وقامته ، لان اقل انحراف ، يهدد بخروج مركز الثقل (الذى يكون فى هذه الحالة اكثر ارتفاعا ، مما هو عليه فى الوضع الطبيعى) عن محيط القاعدة ، وعندئذ سيختل توازن الجسم .

والآن نعود الى تجربة نهوض الشخص الجالس . ان مركز ثقل جذع الشخص الجالس ، يقع داخل الجسم ، قرب العمود الفقرى ، على ارتفاع ٢٠ سم عن مستوى السرّة . نرسم من هذه النقطة خطا عموديا الى الاسفل ، فنرى ان هذا الخط يمر تحت الكرسى فيما وراء القدمين . ولكى يستطيع الانسان النهوض ، يجب ان يمر ذلك الخط العمودى ، بين القدمين .

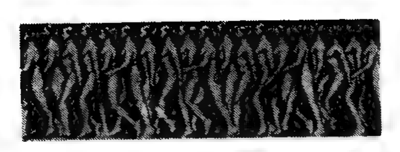
وهذا يعنى ، اننا عند نهوضنا ، يجب علينا اما ان ندفع بصدرنا الى الامام ، فنزيح بذلك مركز الثقل ، او ان نحرك ارجلنا الى الوراء ، لكى نجعل القاعدة تقع تحت مركز الثقل . ونحن نفعل ذلك عادة ، عندما ننهض من الكرسى . ولكن اذا لم يسمح لنا ان نفعل هذا او ذاك ، فسيكون النهوض متعذرا ، كما يتضح من التجربة المذكورة .

المشى والركض

ان الشيء الذى تقوم به عشرات الالوف من المرات فى اليوم خلال حياتك ، يجب ان يكون معروفا لديك معرفة تامة . هذا امر متعارف عليه ، ولكنه ليس بالامر الصائب على الدوام . وخير مثال على ذلك — المشى والركض . هل هنالك شيء ما ، اكثر معرفة لدينا من هاتين الحركتين ؟ وهل يوجد كثير من الناس الذين يتصورون بوضوح ، كيف نحرك جسمنا عند المشى والركض ، وما هو تفسير هذين النوعين من الحركة ؟ لنسمع الآن ما تقوله الفسيولوجيا * عن المشى والركض . وانا واثق من ان الحديث ، سيكون جديدا تماما بالنسبة لمعظم القراء .

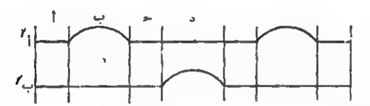
---

* ان الحديث هنا مقتطف من كتاب « محاضرات فى علم الحيوان » للبروفيسور بول بير . اما الرسوم الايضاحية الملحقة ، فمن وضع المؤلف .



شكل ١٧ : طريقة مشى الانسان . الاوضاع المتعاقبة للجسم اثناء المشى .

« لنفرض ان شخصا يقف على رجل واحدة ، ولتكن الرجل اليمنى على سبيل المثال . ولنتصور انه يرفع عقبه (كعبه) ، ويحنى جذعه الى الامام فى نفس الوقت *.



شكل ١٨ : رسم تخطيطى لحركات القدمين اثناء المشى. الخط العلوى (أ') يمثل القدم اليسرى ، والخط السفلى (ب') يمثل القدم اليمنى . والخطوط المستقيمة تشير الى حالات ارتكاز القدم على الارض ، اما الخطوط المنحنية فتشير الى حالات تحرك القدم فى الهواء . ويتضح من الرسم التخطيطى ، ان كلتا القدمين ترتكزان على الارض خلال الفاصلة الزمنية أ ، وخلال الفاصلة الزمنية ب تتحرك القدم أ' فى الهواء ، وتبقى القدم ب' على الارض ، وخلال الفاصلة الزمنية جـ تعود القدمان الى الارتكاز على الارض ثانية . وبازدياد سرعة المشى تقل الفصلتان الزمنيتان أ و جـ (قارن هذا الرسم التخطيطى مع الرسم التخطيطى لحركات القدمين اثناء الركض ، المبين فى الشكل ٢٠) .

وفى مثل هذا الوضع ، يصبح من المفهوم ان الخط العمودى النازل من مركز الثقل ، سيخرج عن مساحة قاعدة الارتكاز ، ويجب ان يقع الشخص اماما على الارض .

---

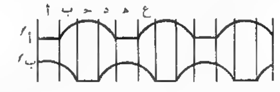
* عند القيام بذلك ، يدفع الشخص الماشى نفسه ، مبتعدا عن موضع الارتكاز ، ويولد فى ذلك الموضع ضغطا قدره ٢٠ كجم ، يضاف الى وزن الجسم . ومن هنا ، بهذه المناسبة ، ينتج أن الشخص الماشى ، يضغط على الارض بقوة ، اكبر من تلك التى يضغط بها الشخص الواقف – المؤلف .



شكل ١٩ . طريقة ركض الانسان . الاوضاع المتعاقبة للجسم اثناء الركض (هناك لحظات معنية ، تكون فيها كلتا القدمين مرتفعتان في الهواء) .

ولكن ما ان يبدأ الشخص بالوقوع ، حتى تتحرك رجله اليسرى المعلقة فى الهواء ، حركة سريعة الى الامام لتستقر على الارض ، اما العمود النازل من مركز الثقل ، بحيث يقع ذلك العمود ، ضمن المساحة التى تشكلها الخطوط الواصلة بين نقاط ارتكاز القدمين . وبهذا الشكل ، يعود التوازن ، ويكون الشخص قد خطا خطوة واحدة الى الامام .

ويستطيع الشخص ان يبقى على هذا الوضع المتعب بما فيه الكفاية . ولكنه اذا اراد الاستمرار فى المشى ، فسيحنى جسمه اكثر الى الامام ، حتى يخرج العمود النازل من مركز الثقل عن حدود مساحة الارتكاز . وفى اللحظة التى يشرف فيها على الوقوع ، يحرك رجله الى الامام مرة اخرى . وفى هذه الحالة ، فانه لا يحرك الرجل اليسرى ، بل اليمنى — خطوة جديدة و هلم جرا . ولذلك ، فان المشى ، ما هو الا سقطات متتابعة



شكل ٢٠ : رسم تخطيطى لحركات القدمين اثناء الركض (قارن هذا الرسم التخطيطى مع الرسم المبين فى شكل ١٨) . يتضح من الرسم التخطيطى ان هناك لحظات معينة (ب ، د ، ع) ، تكون فيها كلتا قدمى الانسان الراكض ، مرتفعتان فى الهواء . وهذا ما يميز الركض عن المشى .

الى الامام ، يتم تلافيها في الحين ، بتحريك الرجل المرفوعة الى الامام ، وتثبيتها على الارض .

لنبحث المسألة عن كثب . نفرض ان الخطوة الاولى قد تمت . في هذه اللحظة ، كانت القدم اليمنى ما زالت ملامسة للارض . اما القدم اليسرى فقد وطئت الارض . ولكن اذا لم تكن الخطوة قصيرة جدا ، لكان من المحتم ان يرتفع العقب الايمن ، وذلك لان ارتفاع العقب بالخصوص ، يساعد الجسم على الانحناء الى الامام ، فيفقد التوازن . ان اول ما يطأ الارض ، هو عقب القدم اليسرى . وبعد ذلك عندما يستقر القدم برمته على الارض ، ترتفع القدم اليمنى عن الارض تماما . وفي نفس الوقت ، فان الرجل اليسرى ، المنحنيّة قليلا عند الركبة ، تأخذ بالاستقامة نتيجة لتقلص عضلة مؤخرة الفخذ ، وتصبح عمودية لبرهة وجيزة . وهذا يسمح للرجل اليمنى نصف المحنية ، بالتحرك الى الامام دون ان تلامس الارض . وبعد ان يتحرك الجسم ، تطأ الرجل اليمنى الارض بعقبها ، في الوقت الذي تبدأ فيه الخطوة التالية بالضبط .

اما الرجل اليسرى ، التي تكون في ذلك الحين ملامسة للارض باصابع القدم فقط ، والتي يجب ان ترتفع عن الارض باسرع وقت ، فتمر بسلسلة مماثلة من الحركات .

ويتميز الركض عن المشي ، بان الرجل الواقفة على الارض تمتد بقوة نتيجة للتقلص الفجائي لعضلاتها ، فتدفع الجسم الى الامام بحيث يصبح لبرهة وجيزة منفصلا عن الارض تماما . ثم يهبط الجسم على الارض مرة ثانية ، على الرجل الاخرى ، التي تحركت بسرعة الى الامام ، في فترة وجود الجسم في الهواء . وبهذا الشكل ، يكون الركض عبارة عن سلسلة من القفزات من قدم الى اخرى » .

اما فيما يتعلق بالطاقة التي يبذلها الشخص عندما يمشي على طريق افقي . فانها لا تساوي صفرا ، كما يتصور البعض . ان مركز ثقل جسم الشخص الماشي ، يرتفع عند كل خطوة ، بعدّة سنتمترات . وتبيّن الحسابات ، ان الشغل المبذول اثناء المشي على طريق افقي ، يساوي تقريبا $\frac{1}{15}$ من الشغل اللازم لرفع جسم الشخص الماشي ، الى مسافة تساوي طول الطريق المقطوع .

كيف يجب القفز من عربة متحركة

اذا طرحنا هذا السؤال على شخص ما ، فسيكون جوابه بالطبع « الى الامام باتجاه الحركة ، طبقا لقانون القصور الذاتي » . ولكن لنطلب منه ان يشرح بالتفصيل ، دور قانون القصور الذاتي في هذه المسألة . يمكن عندئذ التنبؤ بحدوث ما يلي : سيبدأ محدثنا باثبات رأيه بكل ثقة . ولكننا اذا لم نقاطعه ، فسيقع بعد قليل في حالة من الحيرة والارتباك . اذ ينتج انه من جراء القصور الذاتي بالضبط ، يجب القفز بالعكس تماما — الى الوراء بعكس اتجاه الحركة .

وفي الواقع ، فان قانون القصور الذاتي يلعب هنا دورا ثانويا — هناك سبب رئيسي يختلف عن ذلك تماما . فاذا تجاهلنا ذلك السبب الرئيسي ، لتوصلنا في الحقيقة ، الى انه يجب القفز الى الوراء ، لا الى الامام مطلقا .

لنفرض انه وجب علينا القفز من عربة متحركة . ماذا يحدث عند ذلك ؟

عندما نقفز من عربة متحركة ، فان جسمنا المنفصل عن العربة ، يكتسب سرعة العربة (يتحرك بموجب القصور الذاتي) ويحاول ان يتحرك الى الامام . وعندما نقفز الى الامام ، فاننا بالطبع ، لا نجعل هذه السرعة تتضاءل ، ولكننا على العكس ، نجعلها تزداد اكثر .

وينتج من ذلك ، انه كان يجب علينا ان نقفز الى الوراء ، لا الى الامام باتجاه حركة العربة . وعند القفز الى الوراء ، تطرح سرعة القفزة من السرعة التي يتحرك بها الجسم بموجب القصور الذاتي ؛ ونتيجة لذلك ، فعندما يلامس جسمنا الارض ، فانه سيحاول الوقوع عليها بأقل قوة دافعة .

ولكننا اذا اردنا القفز من عربة متحركة ، فسنقفز جميعا الى الامام ، باتجاه الحركة . وهذه في الحقيقة احسن طريقة للقفز ، وهي مضمونة لدرجة تجعلنا نحذر القراء تحذيرا شديدا ، من محاولة تجريب القفز الحرج الى الوراء من عربة متحركة .

اذن ، اين يكمن السبب ؟

يتلخص الامر في عدم دقة الايضاح ، وفي التحفظ الذي فيه . فاذا ما قفزنا الى الامام او الى الوراء ، فاننا في كلتا الحالتين ستتعرض لخطر الوقوع ، وذلك لأن القسم العلوي من جسمنا سيستمر في الحركة ، في الوقت الذي تتوقف فيه الرجلان عند ملامستهما للارض . وتكون سرعة هذه الحركة عند القفز الى الامام ، اكبر مما هي عليه عند القفز الى الوراء . والامر الذي له اهمية جوهرية في هذا الصدد ، هو ان الوقوع الى الامام ، اكثر امانا بكثير ، من الوقوع الى الوراء . ففي الحالة الاولى ، نمد رجلينا الى الامام بحركة اعتيادية (وعند اندفاع العربة بسرعة كبيرة ــ نخطو عدة خطوات) وبذلك نتحاشى الوقوع . ان هذه الحركة هي حركة اعتيادية، وذلك لاننا نقوم بها طوال حياتنا ، كلما مشينا : اذ انه من وجهة نظر الميكانيكا ، كما تبيّن لنا من الموضوع السابق ، يعرّف المشي بأنه عبارة عن سقطات متتابعة الى الامام ، ليس الا ، يتم تداركها بمد الرجل الى الامام . اما عند الوقوع الى الوراء ، فلا نستطيع القيام بهذه الحركة المنقذة ، وبذلك يكون الخطر هنا اكبر كثيرا . واخيرا من المهم ادراكه ايضا ، انه عندما نقع الى الامام فعلا ، ونمد ايدينا ، نصاب برضوض اخف كثيرا، من تلك التي تصيبنا فيما لو وقعنا على ظهرنا .

وهكذا ، فان السبب في ان القفز الى الامام من عربة متحركة ، هو اكثر امانا، لا يتوقف على قانون القصور الذاتي ، بقدر ما يتوقف علينا بالذات . ومن الواضح ، ان هذه القاعدة لا تنطبق على الجماد . ان احتمال تحطم القنينة الزجاجية ، المرميّة الى الامام من عربة متحركة ، عند سقوطها على الارض ، اكبر من احتمال تحطم القنينة المرمية في الاتجاه المعاكس . ولذلك ، فاذا وجب عليك لسبب ما ، ان تقفز من عربة متحركة ، برمي حقائبك اولا ، فيجب ان ترميها الى الوراء ، بينما تقفز انت الى الامام .

ان الناس المجرّبين ــ جباة الترام والمفتشون ــ كثيرا ما يتصرفون كما يلي : يقفزون الى الوراء ، موجهين ظهرهم باتجاه القفزة . وبذلك يحصلون على فائدة مزدوجة : اولا ،

يقللون السرعة التى أكتسبها الجسم بموجب القصور الذاتي ، وثانيا ، يتحاشون خطر الوقوع ارضا على الظهر ، وذلك لأن الجهة الامامية لجسم الشخص القافز ، تكون باتجاه حدوث الوقوع المحتمل .

مسك رصاصة منطلقة باليد

اثناء الحرب العالمية الاولى ، كما جاء في الصحف ، صادفت طيارا فرنسيا حادثة غير متوقعة بالمرّة . عندما كان الطيار يحلق على ارتفاع كيلومترين ، لاحظ شيئا صغيرا يتحرك على مقربة من وجهه . وما كان من الطتار الا ان التقط ذلك الشيء بيده ، وهو يظن انه حشرة . لنتصور الآن دهشة الطيار عندما ظهر له ان الشيء الذى التقطه ، هو رصاصة المانية منطلقة .

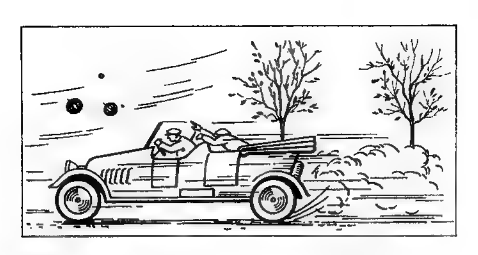
الا يذكرنا هذا بالقصص الخرافية الاسطورية للبارون مونهاوزن الذى ادعى انه امسك بيديه قذيفة منطلقة من مدفع ؟

اما في قصة الطيار الذى التقط بيده رصاصة منطلقة ، فلا يوجد شيء مستحيل .

ان الرصاصة لا تبقى دائما منطلقة بسرعتها الابتدائية التى تتراوح بين ٨٠٠ و٩٠٠ م/ثانية . فنتيجة لمقاومة الهواء ، تقلل الرصاصة من سرعتها تدريجيا ، وعند نهاية طريقها تهبط سرعتها الى ٤٠ م/ ثانية فقط . وبمثل هذه السرعة الاخيرة ، كانت تحلق الطائرات في ذلك الوقت . وهذا يعني ، انه يمكن ان تتساوى سرعة الرصاصة المنطلقة مع سرعة الطائرة بكل سهولة . عندئذ ستصبح الرصاصة بالنسبة للطيار ، ساكنة ، او متحركة حركة بطيئة للغاية . وسوف لا يتعرض الطيار الى اى خطر ، اذا ما التقط الرصاصة بيده ، خاصة اذا كان يرتدى القفاز لان الرصاصة تسخن بشدة وهى تنطلق فى الهواء .

البطيخة القنبلة

اذا امكن للرصاصة فى ظروف معينة ، ان تصبح عديمة الضرر ، فيمكن حدوث حالة عكسية ، هى عندما يؤدى « الجسم الساكن » المرمى بسرعة بطيئة ، الى حدوث اعمال تخريبية .



شكل ٢١ : ان تأثير البطيخة المرمية من الامام على سيارة منطلقة بسرعة ، لا يقل عن تأثير « القذيفة » .

اثناء سباق السيارات الذى جرى عام ١٩٢٤ بين مدينتى لينينغراد وتبيليسى ، رحب فلاحو القرى القوقازية بالسيارات المارة بقربهم ، وذلك بقذف المتسابقين بالبطيخ والشمام والتفاح . وقد ظهر بعد ذلك ان تأثير تلك الهدايا البسيطة ، كان تأثيرا غير مستحب بالمرة . اذ عمل البطيخ والشمام على تشويه وتحطيم جسم للسيارة ، اما التفاح فقد عمل على اصابة المتسابقين بجروح خطيرة . ان سبب ذلك واضح . لقد اضيفت سرعة السيارة الى سرعة البطيخة او التفاحة المرمية ، وحولتهما الى قذيفتين خطيرتين مدمرتين . وليس من الصعب ان نستنتج ان الطاقة الحركية للرصاصة التى تزن ١٠ جم ، هى نفس الطاقة الحركية للبطيخة التى تزن ٤ كجم ، والتى قذفت بها السيارة المنطلقة بسرعة ١٢٠ كم/ ساعة . ولكن فى مثل هذه الظروف ، لا يمكن مقارنة التأثير الصدمى للبطيخة بتأثير الرصاصة ، لان صلادة البطيخة اقل كثيرا من صلادة الرصاصة . ومع تطور صناعة الطائرات النفاثة السريعة ، تكررت حوادث تصادم الطائرات مع الطيور الكاسرة ، الامر الذى أدى مرارا الى اصابة الطائرات بعطل ، بل والى سقوطها وتحطمها .

كيف يمكن لطير صغير ، ان يكون على هذه الدرجة من الخطورة بالنسبة لطائرة ثقيلة كثيرة المقاعد ؟ الا يبدو هذا غريبا ؟ ولكن عندما تبلغ سرعة الطائرة حدا يتراوح بين ٣٠٠ و٥٠٠ م/ ثانية ، يمكن لجسم الطائر ان يخترق صفائح او زجاج قمرة الطيار . اما عندما يصيب منفث المحرك ، فيؤدي الى توقفه عن العمل . وفي عام ١٩٦٤ وقعت حادثة تصادم مماثلة لرجل الفضاء الامريكي تيودور فريمان ، عندما كان يتدرب على متن طائرة نفاثة ، اودت بحياته . ومما يضاعف من خطورة التصادم ، هو ان الطيور الكاسرة ، لا تخاف الطائرات ولا تتنحى عنها جانبا .

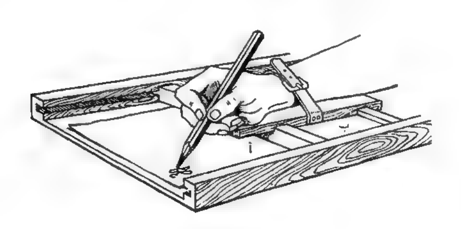
واذا ما تحركت اجسام ما في اتجاه واحد وبسرعات متساوية ، فانها لا تسبب اية اخطار بالنسبة لبعضها البعض .

وفي عام ١٩٣٥ استطاع سائق القطار بورشوف ان يستفيد بمهارة من حقيقة عدم خطورة تصادم الاجسام المتحركة بسرعة متساوية تقريبا وفي اتجاه واحد ، عندما تتلاحم مع بعضها ، فتمكن بذلك من تلافي كارثة اصطدام قطاره مع قطار متحرك آخر ، يضم ٣٦ عربة . حدث ذلك عندما كان بورشوف يقود قطاره على خط يلنيكوف ــ اولشانكا جنوبي روسيا . كان يسير امام قطار بورشوف قطار آخر ما لبث ان توقف عن الحركة لعدم كفاية البخار اللازم لتشغيل المحركات ، فما كان من سائق ذلك القطار ، الا ان يتجه بالقاطرة مع بعض العربات الى الامام نحو المحطة ، تاركا العربات الاخرى التي يبلغ عددها ٣٦ ، واقفة على الخط . وبعد قليل اخذت تلك العربات التي لم توضع تحت عجلاتها احذية فرملة ، بالتدحرج الى الوراء بسرعة ١٥ كم/ ساعة ، وهي على وشك الاصطدام بقطار بورشوف . ولما ادرك السائق ذلك بفطنته ، اوقف قطاره في الحال واخذ يقوده الى الوراء بسرعة تدريجية وصلت الى ١٥ كم/ ساعة . وبفضل هذا التصرف ، استطاع بورشوف ان يجعل الـ ٣٦ عربة ، تلتحم بقطاره دون ادنى ضرر .

واخيرا ، فقد تم انطلاقا من نفس المبدأ ، صنع جهاز يجعل من السهل جدا كتابة الرسائل في القطار المتحرك . ان كتابة الرسائل في قطار متحرك صعبة لسبب واحد ،

هو ان الاهتزازات الناتجة من مرور القطار فوق مفاصل السكة الحديدية ، لا تنتقل الى الورقة والى رأس القلم في وقت واحد . فاذا تمكنا من جعل الاهتزازات تنتقل الى الورقة ورأس القلم في نفس الوقت ، فسيكونان ساكنين بالنسبة لبعضهما البعض ، وسوف لا تبرز اية صعوبة عند الكتابة في القطار المتحرك .

ويمكن التوصل الى ذلك ، بفضل الجهاز المبيّن في الشكل ٢٢ . تربط اليد التي تمسك بالقلم الى لوحة خشبية صغيرة أ ، تنزلق في شقوب خدّية على اللوحة الخشبية ب ، التي تنزلق بدورها في الشقوب الخدّية للوحة الكتابة الموضوعة على المنضدة داخل العربة . ان اليد كما نرى خفيفة الحركة ، بما فيه الكفاية لكتابة الحرف تلو الحرف والسطر تلو السطر ، والى جانب ذلك ، فان كل اهتزاز يصل الى الورقة الموضوعة على اللوحة ، ينتقل في نفس اللحظة وبنفس القوة الى اليد التي تمسك بالقلم . وفي هذه الحالة ، تصبح الكتابة في قطار متحرك ، مريحة كما هي الحال عند الكتابة في عربة ساكنة ؛ والشيء الوحيد غير المريح هنا ، هو رؤية الورقة بصورة مهتزة ، وذلك لأن الرجات لا تصل الى اليد والرأس في نفس الوقت .



شكل ٢٢ : جهاز خاص يساعد على الكتابة المريحة في القطار المتحرك .

16 Зак. 15662

على منصّة الميزان

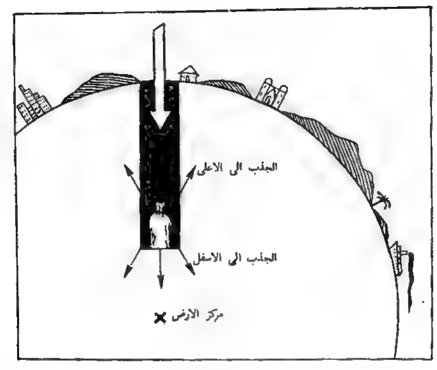
ليس في استطاعتك ان تجد وزنك الصحيح بالضبط ، الا اذا وقفت على منّصة الميزان دون ان تتحرك البتّة . فاذا انحنيت ، فسيقل وزنك حالما تفعل ذلك . لماذا ؟ لأن العضلات التي تحني النصف العلوى من الجسم ، تعمل في نفس الوقت على رفع النصف السفلى من الجسم الى الاعلى ، مقللة بذلك ، الضغط الذى يؤثر به الجسم على القاعدة . وعلى العكس من ذلك ، ففي اللحظة التي ينتصب فيها جسمك ، تعمل العضلات على دفع كلا نصفى الجسم احدهما بعيدا عن الآخر ، وهنا يشير الميزان الى زيادة ملحوظة في الوزن ، بناء على زيادة ضغط النصف السفلى من الجسم على منصة الميزان .

وهكذا حتى ان رفع اليد ، يجب ان يؤدى الى تذبذب مؤشر الميزان الحساس ، طبقا للزيادة القليلة التي تطرأ على الوزن الظاهرة للجسم . ان العضلات التي ترفع اليد الى الاعلى ، ترتكز على الكتف وبالتالى ، فانها تدفعه مع الجسم الى الاسفل ، وبذلك يزداد الضغط على منصة الميزان . وعندما نتوقف عن رفع اليد ، تتحرك العضلات المقابلة ، التي ترفع الكتف الى الاعلى ، محاولة تقريبه من طرف اليد . وبذلك يقل وزن الجسم ، اى يقل الضغط المؤثر على القاعدة .

وعلى العكس من ذلك ، عندما نخفض اليد الى الاسفل ، فاننا نقلل من وزن جسمنا اثناء تلك الحركة ، فنزيده حالما نتوقف عن خفض اليد . وباختصار ، فاننا نستطيع بتأثير القوى الداخلية ، ان نزيد او نقلل من وزننا ، الذى نعني به الضغط المؤثر على القاعدة .

اين تكون الاشياء اثقل مما هى عليه ؟

ان قوة جذب الارض للاجسام ، تقل كلما ارتفعنا عن سطح الارض . فاذا رفعنا سنجة تزن كيلوجراما واحدا ، الى علو قدره ٦٤٠٠ كم ، اى جعلناها تبتعد عن مركز الكرة الارضية مسافة تساوى ضعف نصف قطرها ، لقلت قوة الجاذبية بمقدار



شكل ٢٣ : لماذا تقل قوة الجاذبية كلما توغلنا فى اعماق الارض ؟

٢ ٢ ، اى باربع مرات ، ولاشار الميزان الزنبركى الى الرقم ٢٥٠ جم فقط ، بدلا من ١٠٠٠ جم . ان الارض طبقا لقانون الجاذبية ، تجذب الاجسام الاخرى كما لو كانت كتلة الارض برّمتها ، مركزة فى المركز . اما قوة هذا الجذب ، فتتناسب عكسيا مع مربع المسافة . وفى الحالة التى ذكرناها ، تضاعفت المسافة بين السنجة ومركز الارض ، ولهذا السبب قلّت الجاذبية بمقدار ٢ ٢ ، اى باربع مرات . واذا ابعدنا السنجة عن سطح الارض مسافة قدرها ١٢٨٠٠ كم ، اى ثلاثة اضعاف نصف قطر الارض ، لقلّت الجاذبية بمقدار ٣ ٢ ، اى بتسع مرات . عندئذ سيصبح وزن السنجة ١١١ جم فقط ، بدلا من ١٠٠٠ جم .. وهكذا .

ينتج من ذلك بالطبع ، اننا اذا توغلنا بالسنجة فى اعماق الارض ، اى اذا قربناها من مركز الارض ، فيجب ان تزداد قوة جذب الارض للسنجة ، اى يجب ان يكون وزن السنجة فى اعماق الارض ، اكثر مما هو عليه فوق سطحها . ان هذا الاستنتاج خاطئ ، اذ ان وزن الجسم لا يزداد بتعمقه فى داخل الارض ، بل على العكس من ذلك ، يقل . وتفسير ذلك فى هذه الحالة ، هو ان القوى التى تتألف منها الجاذبية الارضية ، لا تؤثر هنا على الجسم من جهة واحدة ، بل من جميع الجهات . ولو نظرنا الى الشكل ٢٣ ، لرأينا ان السنجة الموضوعة فى باطن الارض ، تنجذب الى الاسفل بتأثير قوى الجاذبية الموجودة تحت السنجة ، ولكنها فى نفس الوقت تنجذب الى الاعلى بتأثير قوى الجاذبية الموجودة فوقها . ويمكننا ان نثبت بان قوى الجاذبية التى تؤثر على الجسم بالفعل ، هى القوى المحصورة داخل كرة ، يساوى نصف قطرها المسافة من مركز الارض الى المكان الذى يوجد فيه الجسم . ولهذا السبب ، فان وزن الجسم يجب ان يقل باطّراد كلما تعمقنا فى باطن الارض . فاذا ما وصلنا الى مركز الارض ، سنرى ان الجسم يفقد وزنه تماما . ويصبح عديم الوزن ، وذلك لان قوى الجاذبية الموجودة فى المركز ، ستؤثر عليه تأثيرا متساويا من جميع الجهات .

وهكذا ، فان اكبر وزن للجسم ، يكون على سطح الارض مباشرة ؛ ويقل ذلك الوزن كلما ابتعد الجسم عن سطح الارض ، سواء ارتفع فى الجو ، او نزل الى باطن الارض * .

وكم يزن الجسم اثناء سقوطه ؟

هل احسست بذلك الشعور الغريب ، الذى ينتابك عندما يهبط بك المصعد الى الاسفل ؟ ستشعر بخفة غير طبيعية ، كتلك التى يشعر بها الشخص ، عند سقوطه فى

* يكون هذا حقيقة واقعة ، لو كانت الارض متجانسة الكثافة تماما . ففى الواقع ، تزداد كثافة الارض كلما اقتربنا من المركز ، ولهذا ، فعند النزول الى باطن الارض ، تزداد قوة الجاذبية فى البداية الى مسافة معينة فقط ، حيث تبدأ بعدها بالانخفاض

هوّة سحيقة بلا قرار . وليس ذلك سوى شعور بانعدام الوزن . فى اللحظة الاولى للحركة ، عندما تبدأ ارضية المصعد التى تقف عليها ، بالهبوط الى الاسفل ، ولم تكن لك بعد تلك السرعة التى يهبط بها المصعد ، وينعدم تقريبا ، الضغط الذى يولده جسمك على ارضية المصعد ، وبالتالى يكون وزنك قليلا جدا . وتمر برهة قصيرة ، لا يلبث بعدها ان يزول ذلك الشعور الغريب ، فعندما يحاول جسمك ان يهبط اسرع من المصعد الذى يهبط بانتظام ، فانه يضغط على ارضية المصعد ، ويستعيد بذلك وزنه التام .

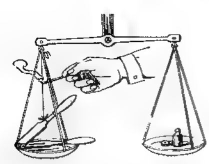
علق سنجة بخطاف ميزان زنبركى ، ولاحظ الى اين يتجه المؤشر ، اذا خفضنا الميزان والسنجة الى الاسفل (للسهولة ضع قطعة من الفلين فى شق الميزان ولاحظ تغيّر وضعيتها) . ستتأكد من ان المؤشر اثناء الحركة ، سوف لا يشير الى الوزن التام للسنجة ، بل الى اقل من ذلك بكثير . فاذا سقط الميزان الى الاسفل بحرية تامة ، واستطعنا اثناء سقوطه ان نتتبع حركة المؤشر ، لرأينا ان السنجة اثناء السقوط ، تكون عديمة الوزن بالمرة ، وان المؤشر يقف عند الصفر .

ان الاشياء الثقيلة جدا ، تصبح عديمة الوزن تماما ، طوال الفترة الزمنية ، التى تكون خلالها فى حالة سقوط . ومن السهل جدا تعليل هذه الظاهرة . ان القوة التى يسحب بها الجسم خطاف الميزان ، او يضغط بها على قاعدته ، تسمى بـ «الوزن» . ان الجسم الساقط ، لا يسحب زنبرك الميزان بتاتا ، وذلك لان الزنبرك يسقط هو الآخر مع الجسم . وعندما يكون الجسم فى حالة سقوط ، فانه لا يسحب اى شيء ولا يضغط على اى شيء . وبالتالى ، فان السؤال عن وزن الجسم عندما يكون فى حالة سقوط ، يشبه تماما السؤال عن وزن الجسم عندما يكون عديم الوزن .

وفى القرن السابع عشر ، كتب مؤسس علم الميكانيكا ، العالم الشهير غاليليو ، ما يلى * : «اننا نشعر بالحمل الموضوع على اكتافنا ، عندما نحاول منعه من السقوط . ولكننا اذا تحركنا الى الاسفل بنفس سرعة سقوط الحمل الموضوع على اكتافنا ، فكيف

* فى ابحاثه المسماة «براهين رياضية» والمتعلقة بفرعين من فروع العلم الحديث .

يضغط علينا ويثقل كاهلنا ؟ ان ذلك سيكون تماما ، كما لو اردنا ان نصيب برمحنا * شخصا ما يركض امامنا بنفس السرعة التى نلاحقه بها نحن » .



شكل ٢٤ : تجربة توضح بان الجسم الساقط عديم الوزن .

ان التجربة البسيطة التالية ، تؤكد بوضوح ، حقيقة هذه المناقشات .

نضع كسّارة بندق فى احدى كفتى ميزان تجارى ، بحيث يستقر احد مرفقى الكسارة على كفة الميزان ، ونربط المرفق الآخر بخيط معلق فى خطاف ذراع الميزان كما هو مبيّن فى الشكل ٢٤ . نضع سنجات فى كفة الميزان الاخرى الى ان تتوازن الكفتان . نقرّب من الخيط عود ثقاب مشتعل ، فيحترق الخيط ويسقط المرفق العلوى لكسارة البندق فى كفة الميزان .

ماذا يحدث للميزان فى هذه اللحظة ؟ هل تنخفض كفة الميزان التى تحمل كسارة البندق فى الفترة التى يستمر فيها سقوط المرفق العلوى للكسارة ، وهل ترتفع تلك الكفة ام تبقى متوازنة ؟

الآن وبعد ان علمنا ان الاجسام الساقطة عديمة الوزن ، نستطيع سلفا ، الاجابة على هذا السؤال بصورة صحيحة : يجب ان ترتفع كفة الميزان لبرهة قصيرة الى الاعلى . وفى الحقيقة ، فان المرفق العلوى لكسارة البندق ، بالرغم من اتصاله بالمرفق السفلى ، يوّلد عند سقوطه ، ضغطا على كفة الميزان ، اقل من الضغط الذى يولده عليها عندما يكون ساكنا . ان وزن كسارة البندق يقل لبرهة قصيرة ، وفى تلك الاثناء بالطبع ، ترتفع كفة الميزان الى الاعلى .

---

* دون ان نرمى الرمح من يدنا

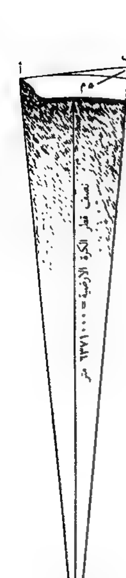
من المدفع ... الى القمر !

فى الفترة الواقعة بين عامى ١٨٦٥ و ١٨٧٠ ، صدرت فى فرنسا رواية جول فيرن الخيالية « من المدفع الى القمر » التى احتوت على فكرة غريبة ، وهى ان تطلق من فوهة المدفع الى القمر ، قذيفة ضخمة على هيئة عربة مملوءة بركاب ! لقد طرح جول فيرن فكرته هذه ، بصورة قريبة من الحقيقة ، بحيث بدت على وجوه معظم القراء بلا ريب ، علائم استفهام : الا يمكن فى الواقع تحقيق هذه الفكرة ؟ ان الحديث عن ذلك ممتع جدا * .

اولا ، لنبحث عما اذا كان يمكن — ولو نظريا — ان نطلق من المدفع ، قذيفة ما ، بحيث لا تعود مرة ثانية الى الارض بتاتا . ان هذا الامر ممكن من الناحية النظرية . والان ، ما هوالسبب الذى يجعل القذيفة المنطلقة افقيا من فوهة المدفع ، تسقط فى النهاية على الارض ؟ ان السبب هو ان الارض يجذبها للقذيفة ، تغيّر مسارها — اى مسار القذيفة — من خط مستقيم الى خط منحن يتجه نحو الارض ، ولا بد له ان يلتقى بها بعد مدة طالت ام قصرت . وفى الواقع ، فان سطح الارض منحن ايضا ، ولكن مسار القذيفة اكثر انحناء بكثير من سطح الارض . فاذا قللنا من انحناء مسار القذيفة ، وجعلناه مماثلا لانحناء سطح الكرة الارضية ، فان مثل هذه القذيفة لن تسقط على الارض مطلقا . وبدلا من ذلك ، فان القذيفة سوف تتحرك على مدار متحد المركز مع محيط الكرة الارضية . وبعبارة اخرى ، تصبح القذيفة بمثابة تابع ارضى ، كما لو كانت قمرا صغيرا ثانيا .

---

* اما الآن ، وبعد اطلاق الاقمار الصناعية والصواريخ الكونية الاولى ، نستطيع القول بان الصواريخ لا القذائف ، هى التى ستستخدم فى الرحلات الفضائية . ولكن حركة الصاروخ بعد انتهاء مرحلته الاخيرة ، تخضع لنفس القوانين التى تخضع لها حركة قذيفة المدفع ، لذلك فان الموضوع الذى يبحثه المؤلف هنا ، لا يزال محتفظا بحيويته — المحرر .



شكل ٢٥ : حساب سرعة القذيفة ، التي يجب ان تخرج عن نطاق الكرة الارضية بصورة نهائية .

ولكن كيف نتوصل الى جعل القذيفة المنطلقة من المدفع تتخذ مسارا ، اقل انحناء من سطح الكرة الارضية؟ لكي نتوصل الى ذلك، من الضروري فقط، اعطاء القذيفة السرعة الكافية . لاحظ الشكل ٢٥ ، الذي يبين مقطعا عرضيا لجزء من الارض . وهناك على قمة الجبل ، وضع مدفع في النقطة أ . ان القذيفة التي تطلق افقيا من ذلك المدفع ، يمكن ان تصل الى النقطة ب في ثانية واحدة، في حالة انعدام الجاذبية الارضية . ولكن وجود الجاذبية الارضية يغيّر الامر . فبتأثير هذه القوة ، لا تصل القذيفة الى النقطة ب خلال ثانية واحدة ، بل تصل الى النقطة ج ، التي تقع تحت النقطة ب بمسافة ٥ م . ان هذه الامتار الخمسة ، هي المسافة التي يقطعها (في الفراغ) كل جسم ساقط بحرية، في الثانية الاولى بسبب تأثير الجاذبية الارضية القريبة من سطح الارض . فاذا ظهر ان ارتفاع القذيفة عن سطح الارض ، بعد هبوطها بمقدار ٥ م ، هو نفس الارتفاع الذي كانت عليه عند وجودها في النقطة أ ، فهذا يعني ان القذيفة تتحرك على مدار متحد المركز مع محيط الكرة الارضية .

بقي علينا ان نحسب المسافة أب (شكل ٢٥)، اي المسافة التي قطعتها القذيفة خلال ثانية واحدة ، في الاتجاه الافقي . عندئذ سنعرف السرعة المطلوبة لاطلاق القذيفة

من فوهة المدفع . ومن السهل حساب ذلك من المثلث أم ب ، الذى يكون فيه م أ — نصف قطر الكرة الارضية (ويساوى حوالى ٦٣٧٠٠٠٠ م) ؛ م جـ = م أ ؛ والمسافة ب جـ = ٥ م . اذن م ب = ٦٣٧٠٠٠٥ م ؛

وبتطبيق نظرية فيثاغورس ، نجد ان :

(أب) ٢ = (٦,٧٠٠٠٠٥) ٢ — (٦٣٧٠٠٠٠) ٢

وبحل هذه المعادلة ، ينتج ان أب يساوى ٨ كم تقريبا .

وهكذا ، فلو انعدم وجود الهواء الذى يعرقل كثيرا الحركة السريعة ، لوجدنا ان القذيفة المنطلقة افقيا من فوهة المدفع بسرعة ٨ كم/ثانية ، لن تسقط على الارض ابدا ، بل تدور حول الارض بصورة ازلية ، كما يدور القمر الاصطناعى .

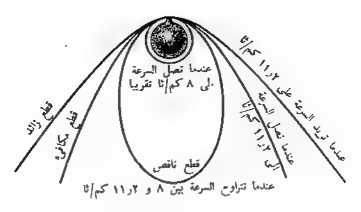
والآن ، اذا اطلقنا القذيفة من المدفع ، بسرعة اكبر من تلك السرعة المذكورة ، فالى اين تنطلق ؟ لقد برهن العاملون فى حقل ميكانيكا الاجواء العليا ، ان اطلاق القذيفة من فوهة المدفع بسرعة قدرها ٩ر٨ كم/ ثانية او حتى ١٠ كم/ ثانية ، يجعلها تأخذ مدارا اهليلجيا حول الارض ؛ تزداد استطالته كلما ازدادت السرعة الابتدائية للقذيفة . اما عندما تصل سرعة القذيفة الى ٢ر١١ كم/ ثانية ، فانها لا تتخذ لنفسها مدارا اهليلجيا ، بل تتخذ مدارا غير مقفل — قطع مكافئ ، وبذلك تبتعد عن الارض بصورة نهائية (شكل ٢٦) .

وهكذا نرى ان فكرة التحليق الى القمر داخل قذيفة منطلقة بسرعة كبيرة كافية * ، هى فكرة صحيحة من الناحية النظرية .

(ان الجو المذكور فى المناقشة السابقة ، هو الجو الذى لا يعرقل حركة القذيفة . اما فى الظروف الواقعية ، فان وجود الجو المقاوم للحركة ، يعرقل كثيرا ، محاولة الوصول الى سرع كبيرة ، وربما يجعل من المستحيل تحقيقها)

---

* ولكن قد تنشأ هنا صعوبات خاصة جدا . ان هذه المسألة مبحوثة بصورة مفصلة فى الكتاب الثانى من « الفيزياء المسلية » ، وكذلك فى كتاب آخر للمؤلف عنوانه « رحلة بين الكواكب » .



شكل ٢٦ : مسارات قذيفة المدفع ، المنطلقة بسرعة ابتدائية تبلغ ٨ كم/ثا واكثر .

كيف وصف جول فيرن الرحلة الى القمر وكيف كان يجب ان تتم !

ان كل من قرأ رواية جول فيرن « من المدفع الى القمر » لا بد وان يتذكر تلك اللحظة الممتعة من الرحلة ، التي مرت فيها القذيفة بالنقطة التي تتساوى عندها الجاذبية الارضية مع جاذبية القمر . لقد حدث في الحقيقة شيء لا يصدق : ان جميع الاشياء التي كانت داخل القذيفة ، فقدت وزنها . اما المسافرون انفسهم ، فقد اصبحوا معلقين في الهواء دون ان يستندوا الى اي شيء .

ان هذا الوصف صحيح تماما ، ولكن غاب عن ذهن جول فيرن ان نفس الشيء كان يجب ان يحدث ايضا ، قبل وبعد المرور بنقطة الجاذبية المتعادلة . ومن السهل ان نبين ان المسافرين وكافة الاشياء الموجودة داخل القذيفة ، لا بد وان تصبح عديمة الوزن من اللحظة الاولى لبداية الطيران الطليق .

يبدو ان هذا الامر مستحيل ، ولكني واثق من ان القارئ سيتعجب الآن ، لانه بالذات ، لم ينتبه سابقا الى تلك الهفوة الكبيرة .

لنأخذ مثالا من رواية جول فيرن . لا شك ان القارئ لم ينس كيف رمى المسافرون جثة الكلب خارج القذيفة ، وكيف تملكتهم الدهشة عندما لاحظوا ان الجثة لم تسقط

على الارض مطلقا ، بل استمرت فى الاندفاع الى الامام مع القذيفة . لقد وصف جول فيرن هذه الظاهرة وصفا صحيحا وفسرها على حقيقتها . وبالفعل ، ففى الفراغ كما هو معروف ، تسقط جميع الاجسام بسرعة واحدة : لان الجاذبية الارضية تعطى جميع الاجسام تسارعا (تعجيلا) متساويا . وفى الحالة المذكورة ، كان لا بد للقذيفة ولجثة الكلب ، من ان تكتسبا بتأثير الجاذبية الارضية ، سرعة سقوط واحدة (تسارعا واحدا) . وبتعبير ادق ، كان لا بد للسرعة التى اكتسبتاها عند الانطلاق من المدفع ، ان تقل بالتساوى تحت تأثير الجاذبية الارضية . ينتج من ذلك ، ان سرعتى القذيفة وجثة الكلب يجب ان تكونا متساويتين دائما فى كافة نقاط الطريق . ولذلك ، فان جثة الكلب المرمية خارج القذيفة استمرت فى اللحاق بالقذيفة دون ان تتخلف عنها بشىء .

ولكن الشىء الذى لم يفكر فيه جول فيرن هو : اذا لم تسقط جثة الكلب الى الارض عند وجودها خارج القذيفة ، فلماذا تسقط عند وجودها داخل القذيفة ؟ مع ان نفس القوى بالذات تؤثر فى كلتا الحالتين ! ان جسم الكلب المعلق بحرية فى الفراغ الموجود داخل القذيفة ، يجب ان يبقى على تلك الحالة : اذ ان سرعته مساوية تماما لسرعة القذيفة ، وهذا يعنى ان الجسم يبقى فى حالة سكون بالنسبة للقذيفة .

والقوانين التى خضعت لها جثة الكلب ، هى نفس القوانين التى تخضع لها اجسام المسافرين وجميع الاشياء الموجودة داخل القذيفة بصورة عامة . اى تكون لها نفس سرعة القذيفة بالذات فى كافة نقاط الطريق . وبالتالى ، فلا يجب ان تسقط حتى لو بقيت بدون مسند . فالكرسى الموضوع على ارضية القذيفة المنطلقة ، يمكن وضعه بصورة معكوسة عند سقف القذيفة دون ان يسقط الى الاسفل ، ذلك لانه سوف يستمر فى اللحاق بالسقف جنبا الى جنب . وبامكان المسافر الجلوس على هذا الكرسى ورأسه الى اسفل والبقاء على تلك الحالة دون ان يتعرض بتاتا للسقوط على ارضية القذيفة . فما هى القوة التى تستطيع ان تجبره على السقوط ؟ اذ لو سقط المسافر ، اى لو اقترب من الارضية ، لكان معنى ذلك فى الحقيقة ، ان القذيفة تنطلق فى الفضاء بسرعة اكبر من سرعة المسافر (ولو لا ذلك لما اقترب الكرسى من ارضية القذيفة) . وبالمناسبة ،

فان هذا الشيء مستحيل : فنحن نعلم ان لجميع الاشياء الموجودة داخل القسيفة تسارعا مساويا لتسارع القذيفة بالذات .

ان جول فيرن لم يتنبه الى ذلك : فقد تصور ان الاشياء الموجودة داخل القذيفة المنطلقة فى الفضاء ، سوف تستمر بالضغط على قواعدها (مرتكزاتها) كما كانت عليه الحال عندما كانت القذيفة ساكنة . وغاب عن ذهن جول فيرن كذلك ان الجسم يضغط بثقله على القاعدة ، لسبب واحد ، هو ان القاعدة اما ان تكون ساكنة ، ام انها تتحرك بانتظام . فاذا كان الجسم والقاعدة يتحركان فى الفضاء بتسارع واحد فلا يمكن ان يضغط احدهما على الآخر (اذا كان سبب التسارع قوة خارجية ، مثلا مجال الجاذبية الارضية . لا اشتغال محرك الصاروخ) .

وهكذا ، فمنذ اللحظة التى توقف عندها تأثير الغازات النفاثة على القذيفة * ، اصبح المسافرون عديمى الوزن ، وكان فى استطاعتهم التحليق بحرية فى الهواء الموجود داخل القذيفة . وكذلك بالضبط كان من المحتم ان تصبح جميع الاشياء الموجودة داخل القذيفة ، عديمة الوزن تماما . وبهذه الدلالة ، استطاع المسافرون ان يتبينوا بسهولة ، هل هم منطلقون فى الفضاء ام لا زالوا موجودين فى داخل المدفع . وبهذه المناسبة ، يحدثنا جول فيرن كيف ان المسافرين لم يدركوا فى اول نصف ساعة من الرحلة الفضائية عما اذا كانوا يطيرون حقا ام لا ؟ فيدور بينهم الحوار التالى :

ـ نيقولا ، هل اننا نتحرك ؟

كان اردان ونيقولا ينظران الى بعضهما البعض ، فهما لم يشعرا بحركة القذيفة .

وهنا كرّر اردان السؤال :

ـ حقّاً ! هل نحن نتحرك ؟

ثم استطرد نيقولا متسائلا :

ـ ام اننا لا نزال على ارض فلوريدا ؟

---

* اى عند بدء انطلاق القذيفة بالدفع الذاتى ــ المعرب .

واكمل ميشيل السؤال بقوله :

– او على قاع خليج المكسيك ؟

ان هذه الشكوك قد تدور في اذهان المسافرين على ظهر احدى البواخر . اما ان تدور في اذهان المسافرين داخل قذيفة محلقة في الفضاء ، فهو امر لا يمكن تصوره : ان المسافرين على ظهر الباخرة يحتفظون باوزانهم ، اما المسافرون داخل قذيفة فضائية ، فلا بد ان يلاحظوا انهم قد فقدوا وزنهم تماما .

ويجب اعتبار هذه القذيفة الخيالية بمثابة ظاهرة غريبة ! عالم صغير جدا . تكون فيه الاجسام عديمة الوزن . واذا رميت فانها تبقى معلقة في محلها بسكون ، وتحافظ فيه الاشياء على توازنها في جميع الاوضاع . ولا ينسكب الماء من قنينة زجاجية مائلة ...

لقد غاب كل ذلك عن ذهن مؤلف « رحلة الى القمر » ، بينما كان باستطاعته لو انتبه الى هذه الامكانيات المدهشة ، ان يطلق العنان لتخيلاته .

ان اول من طاف في ذلك العالم المدهش .. عالم انعدام الوزن ، هم رجال الفضاء السوفييت . وقد استطاع ملايين الناس الذين تتبعوا تحليق رجال الفضاء السوفييت على شاشة التلفزيون ، ان يروا كيف تتعلق الاشياء المرمية من اليد في الهواء ، وكيف حام رجال الفضاء انفسهم في داخل قمراتهم ، بل وحلقوا مع سفينة الفضاء جنبا الى جنب .

وزن مضبوط على موازين غير مضبوطة

ما هو الشيء الاهم بالنسبة لعملية الوزن الصحيحة : الميزان ام السنجة ؟ يكون القارئ مخطئا اذا فكر بانهما على درجة واحدة من الاهمية ، اذ يمكن ان نحصل على وزن مضبوط دون ان يكون لدينا ميزان مضبوط ، عندما تكون لدينا سنجة مضبوطة . وهناك عدة طرق لنحصول على الوزن المضبوط من ميزان غير مضبوط . ولنبحث طريقتين من تلك الطرق :

نبدأ بالطريقة الاولى التي اقترحها الكيميائي الروسي العظيم دمتري منديلييف . سدأ الوزن بوضع ثقل ما من اي نوع كان في احدى كفتي الميزان ، على شرط ان يكون

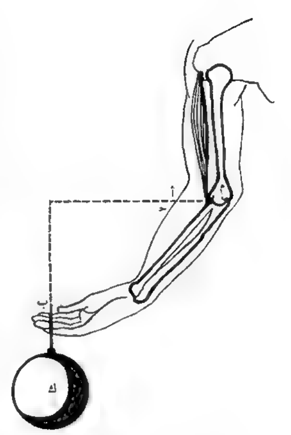
اثقل من الجسم المراد وزنه . تعادل هذا الثقل بعيارات توضع فى الكفة الثانية للميزان . وبعد ذلك يوضع الجسم المراد وزنه فى الكفة المحتوية على العيارات ، ونرفع منها العيارات الزائدة الى ان يعود التوازن المفقود الى كفتى الميزان . وكما يبدو ، فان وزن العيارات المرفوعة يساوى وزن الجسم : لاننا استعضنا عن تلك العيارات بوزن الجسم الموضوع فى نفس الكفة بالذات ، الامر الذى يعنى ان وزن الجسم يساوى وزن العيارات المرفوعة . ان هذه الطريقة تسمى بـ « طريقة الحمل الثابت » وهى مريحة خاصة عند القيام بوزن عدة اجسام ، الواحد تلو الآخر . اذ يبقى الحمل الابتدائى ليستخدم فى كافة عمليات الوزن .

والطريقة الاخرى التى سميت باسم العالم الذى اقترحها وهى « طريقة بورد » ، تجرى كما يلى : نضع الجسم المراد وزنه فى احدى كفتى الميزان ، ونضع فى الكفة الثانية رملا او خردقا الى ان تتوازن الكفتان . ثم نرفع الجسم المراد وزنه من كفة الميزان (مع عدم التعرض للرمل) ، ونضع فيها عيارات الى ان تعود الكفتان الى توازنهما السابق . ومن الواضح الآن ، ان وزن العيارات يساوى وزن الجسم الذى استبدل بها . ومن هنا اتت التسمية الاخرى لهذه الطريقة وهى « الوزن بالاستبدال » . وهذه الطريقة البسيطة تستخدم ايضا بالنسبة للميزان الزنبركى الذى يحتوى على كفة واحدة فقط ، اذا كانت لدينا بالاضافة الى ذلك ، عيارات مضبوطة . وفى هذه الحالة لن نحتاج الى الرمل او الخردق . نضع الجسم المراد وزنه فى كفة الميزان ونلاحظ العلامة التى يقف عندها المؤشر . ثم نرفع ذلك الجسم ونضع محله العيارات اللازمة لاعادة المؤشر الى نفس العلامة التى وقف عندها فى المرة الاولى . ان وزن العيارات ، كما يتضح ، يجب ان يساوى وزن الجسم الذى استبدل بها

انك اقوى مما تعتقد !

ما هو مقدار الثقل الذى تستطيع ان ترفعه بيدك ؟ لنفرض انه يساوى ١٠ كجم . هل تعتقد ان هذه الكيلوجرامات العشرة ، تحدد قوة عضلات يدك ؟ لا ابدا . ان العضلات

اقوى من ذلك بكثير ! تتبع على سبيل المثال ، عمل عضلة يدك المسماة بالعضلة ذات الرأسين (شكل ٢٧) . وهذه العضلة مثبتة بالقرب من نقطة ارتكاز العتلة ، الممثلة هنا بعظم الساعد. اما الثقل فيؤثر في الطرف الثاني لهذه العتلة الحية . والمسافة من الثقل الى نقطة الارتكاز ، اى الى المفصل ، اكبر من المسافة بين نهاية العضلة ونقطة الارتكاز بثماني مرات تقريبا . وهذا يعني انه اذا كان مقدار الثقل ١٠ كجم ، فان العضلة تشدّ بقوة تزيد على ذلك بثماني مرات . ولما كانت القوة الناشئة في العضلة تزيد على قوة اليد بثماني مرات ، فان باستطاعة العضلة رفع ٨٠ كجم لا ١٠ كجم . ونكون على حق اذا قلنا دون مبالغة ، بان كل انسان في الوجود ، هو اقوى كثيرا مما يعتقد ، اى ان القوة الناشئة في عضلاتنا ، هي اكبر بكثير من القوة التي نبديها عند القيام باعمالنا .



شكل ٢٧ : ان ساعد الانسان جـ د هو عبارة عن عتلة حية . والقوة هنا تؤثر في النقطة أ ، ويقع مرتكز العتلة في نقطة المفصل م ، اما الثقل ك فيرفع من النقطة ب . ان المسافة (ب م) اكبر من المسافة (أم) بثماني مرات تقريبا (ان هذا الشكل مأخوذ من كتاب قديم عنوانه – حركات الحيوانات – قام بتأليفه العالم الفسيولوجي بوريللي في القرن السابع عشر . وكان هذا العالم هو اول من ادخل قوانين الميكانيكا على علم الفسيولوجيا) .

هل ان هذا التكوين ملائم للغرض ؟ يبدو لاول وهلة وكأنه غير ملائم للغرض لان فى ذلك خسارة فى القوة، لا يعوض عنها اى شى . ولكن لنتذكر « القاعدة الذهبية » القديمة فى علم الميكانيكا وهى : ان كل خسارة في القوة هى ربح فى الحركة . وهنا نحصل على ربح فى الحركة ، لان ايدينا تتحرك اسرع من العضلات بثمانى مرات . ان طريقة تثبيت العضلات ، التى نراها فى جسم الاحياء ، تساعد الاطراف على الاسراع من حركتها التى تكون اكثر اهمية من القوة ، فيما يتعلق بتنازع البقاء . واذا لم تكن ايدينا وارجلنا مكونة بهذا الشكل ، لكنا مخلوقات بطيئة الحركة الى درجة كبيرة .

لماذا تكون الاجسام المسننة (الحادة) وخازة ؟

هل فكر القارئ فى السؤال التالى : لماذا تخترق الابرة الجسم بسهولة ؟ ولماذا يمكن بسهولة غرز ابرة رفيعة فى قطعة من الورق المقوى او القماش ، ويصعب غرز مسمار مثلّم ؟ مع العلم ان القوة المؤثرة فى كلتا الحالتين هى قوة واحدة !

ان القوة واحدة . اما الضغط فهو مختلف . ففى الحالة الاولى تركزت القوة باجمعها على سنان الابرة ، اما فى الحالة الثانية فقد توزعت القوة نفسها على مساحة اكبر ، هى مساحة طرف (رأس) المسمار ، وبالتالى يكون ضغط الابرة ، اكبر كثيرا من ضغط المسمار المثلّم ، عندما تسلط عليهما قوة واحدة .

ويؤكد الجميع بان المسلفة ذات العشرين سنا تخترق المتربة بعمق اكبر من العمق الذى تصله المسلفة ذات الستين سنًا . فما السبب فى ذلك ؟ ان السبب هو ان الحمل المسلط على كل سن فى الحالة الاولى ، اكبر مما هو عليه فى الحالة الثانية .

وعندما نتحدث عن الضغط ، يجب دائما ، بالاضافة الى القوة ، ان نأخذ فى الاعتبار كذلك ، المساحة التى تؤثر عليها تلك القوة . واذا قيل لنا ان فلانا يتقاضى اجرة قدرها ١٠٠ روبل ، فان هذا القول لا يكون كافيا لكى نعرف هل هذا كثير ام قليل ، الا اذا عرفنا ان هذا المبلغ ، هو اجرته الاسبوعية او الشهرية . وهكذا بالضبط ،

فان تأثير القوة يعتمد على المساحة التي تتوزع عليها ، هل تتوزع على ١ سم ٢ ام تتوزع على ٠١ر٠ مم ٢

وباستطاعة الانسان ان يتزلج على الثلج الهش بواسطة زحلوفة . اما بدونها ، فان قدميه تغوطان في الثلج . ما هو السبب ؟ ان السبب هو ان ضغط الجسم في الحالة الاولى يتوزع على سطح اكبر كثيرا مما هو عليه في الحالة الثانية . واذا كان سطح الزحلوفة ، مثلا ، اكبر من سطح قدمينا بعشرين مرة ، فاننا نضغط بالزحلوفة على الثلج ، بقوة تقل بعشرين مرة ، عن القوة التي نولدها عندما نضغط باقدامنا على الثلج . والثلج الهش يتحمل الضغط في الحالة الاولى ، ولا يتحمله في الحالة الثانية .

ولنفس السبب بالذات ، تشد الى حوافر الخيول التي تعمل في المستنقعات ، اخفاف خاصة لزيادة مساحة ارتكاز القوائم ، وبذلك يقل الضغط المسلط على تربة المستنقع . وبالتالي ، فان قوائم الخيول عندئذ لا تغوط في تربة المستنقع . وبهذه الطريقة بالذات ، يتصرف بعض الناس الذين يعيشون في اماكن تكثر فيها المستنقعات .

ويتحرك الناس زحفا على القشرة الجليدية الرقيقة ، لكي يوزعوا اثقال اجسامهم على مساحة اكبر .

واخيرا ، فان الخاصية المميزة للدبابات والعربات المجتزرة ، وهي عدم غوطها في التربة الرخوة على الرغم من وزنها الثقيل جدا ، تفسّر ايضا بتوزيع الوزن على سطح ارتكاز كبير .

ان العربة المجتزرة التي تزن ٨ اطنان واكثر ، تضغط على كل ١ سم ٢ من التربة بقوة لا تزيد على ٦٠٠ جم . ومن وجهة النظر هذه ، فان سيارة الشحن المجتزرة ، التي تعبر المستنقعات تحظى بالاهتمام . ان سيارة الشحن هذه ، التي تحمل طنّين من الاحمال ، تضغط على التربة بقوة لا تتجاوز ١٦٠ جم/ سم ٢ . وبفضل ذلك ، فانها تسير بصورة جيدة في المستنقعات الخثية ، وفي الاماكن الموحلة او الرملية .

وفي هذه الحالة ، تصبح مساحة الارتكاز الكبيرة ، مفيدة ايضا من الناحية التكنيكية ، مثل المساحة الصغيرة في حالة الابرة .

15 Зак. 15662

ويتضح مما قيل ، ان الرأس الحاد يوخز ، بفضل المساحة الصغيرة ، التي يتوزع عليها تأثير القوة . ولنفس السبب بالذات ، فان السكين الحادة تقطع احسن من السكين المثلمة اذ تتركز القوة على مساحة صغيرة .

وهكذا ، فان الاجسام الحادة (المسننة) ، تكون جيدة الوخز او القطع ، لان ضغطا كبيرا يتركز على رأسها ونصالها .

متى يكون السرير الحجري مريحا ؟

لماذا يكون الجلوس على كرسي خشبي بلا مسند ، غير مريح ، بينما يكون الجلوس على الكرسي الخشبي العادي مريحا ؟ لماذا يكون الاستلقاء في ارجوحة شبكية من الحبال الخشنة ، مريحا ؟ لماذا تشعر بالراحة عند التمدد على الشبكة السلكية التي تجهز بها الاسرّة عوضا عن الحشايا الزنبركية ؟

ليس من الصعب الاجابة على هذه الاسئلة . ان مقعدة الكرسي الخالي من المسند مستوية ، وعندما نجلس عليها ، فاننا نضغط بثقل الجسم كلّه ، على مساحة صغيرة منها فقط . اما مقعدة الكرسي العادي فهي مقعرة وعند جلوسنا عليها نضغط على مساحة كبيرة منها ، يتوزع عليها ثقل الجسم ؛ وبذلك يقل الثقل والضغط المسلّطين على وحدة السطح .

وهكذا ، فكل ما في الامر هنا ، هو توزيع الضغط بصورة اكثر انتظاما . وعندما ننعم بالاستلقاء على سرير وثير ، تتكون فيه تجاويف مطابقة للاجزاء البارزة من جسمنا . ويوزع الضغط هنا ، على السطح السفلي للجسم بصورة منتظمة الى حد كاف ، بحيث لا تزيد القوة المسلطة على السنتمتر المربع الواحد ، على عدة جرامات فقط . وليس هناك ما يدعو الى العجب ، اذا شعرنا بالراحة في هذه الحالة .

ويمكن بسهولة ، التعبير عن هذا الاختلاف بالأرقام . ان مساحة جسم الانسان البالغ ، تساوي حوالي ٢ م ٢ ، او ٢٠٠٠٠ سم ٢ . لنفرض انه باستلقائنا على السرير ،

تكون ربع مساحة جسمنا باجمعه مستندة اليه ، اى ٠٫٥ م٢ او ٥٠٠٠ سم٢ . ويبلغ الوزن الكلى لجسمنا (فى المعدل) حوالى ٦٠ كجم ، او ٦٠٠٠٠ جم . اى يؤثر على كل سنتمتر مربع ١٢ جم فقط . وعندما نستلقى على الواح غير مفروشة ، فاننا نستند اليها باقسام صغيرة من جسمنا ، تبلغ مساحتها الكلية حوالى ١٠٠ سم ٢ لا غير . وبالتالى ، يكون الضغط المؤثر على كل سنتمتر مربع ، مساويا لنصف كيلوجرام ، لا لعدة عشرات من الجرامات . ان الفرق واضح ، ونحن نشعر بتأثيره على جسمنا عندما نقول « ان المكان غير مريح بتاتا » .

ولكن اكثر المضاجع خشونة ، قد لا تكون بالنسبة لنا خشنة بالمرة ، اذا كان الضغط موزعا بانتظام على مساحة كبيرة . تصوّر انك استلقيت على طين ليّن ، وطبعت فيه شكل جسمك . وبعد نهوضك عن الطين ، دعه يجف (عندما يجف الطين فانه يتكمش بمقدار يتراوح بين ٥ و١٠٪ ، ولنفرض ان ذلك لن يحدث) . وبعد ان يتصلّب الطين ويصبح كالحجر ، محافظا على الاثر الذى تركه فيه جسمك ، حاول ان تستلقى فوقه مرة ثانية لتملأ بجسمك ذلك القالب الحجرى . اذا فعلت ذلك ، ستشعر وكأنك تستلقى على سرير من الريش الناعم ، وسوف لن تحسّ باية خشونة على الرغم من كونك مستلق على الحجر بالذات . ان سبب عدم شعورنا بخشونة المضجع ، يرجع فى هذه الحالة الى توزيع وزن الجسم على مساحة ارتكاز كبيرة جدا .

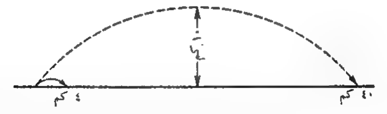
وكما هو معروف ، فاثناء انطلاق وهبوط السفن الفضائية ، يشعر رواد الفضاء بارهاق شديد ، وذلك لأن وزنهم يتضاعف بعدد من المرات يتراوح بين ١٠ و ١٤ مرة . ولكى يتحمل الطيارون الارهاق دون الحاق الاذى بأنفسهم ، تصنع مقاعدهم من مواد بلاستيكية خاصة ، بحيث يكون شكلها مطابقا تماما لجسم الرائد .

الفصل الثالث | **مقاومة الوسط**

الرصاصة والهواء

يعلم الجميع ان الهواء يعرقل انطلاق الرصاصة ولكن القليلين فقط ، بامكانهم ان يتصوروا بوضوح ، مدى قوة تلك التأثيرات المعرقلة الناتجة عن الهواء . ومعظم الناس يميل الى التفكير بان وسطا رقيقا كالهواء ، الذى لا نحس به عادة ، ليس باستطاعته عرقلة الانطلاق السريع لرصاصة المسدس او البندقية باى قدر ملحوظ .

ولكننا اذا نظرنا الى الشكل ٢٨ ، لفهمنا بان الهواء يشكل عقبة خطيرة جدا بالنسبة للرصاصة . ان القوس الكبير الموضح فى الشكل المذكور ، يمثل الطريق الذى يمكن ان تقطعه الرصاصة فى حالة عدم وجود المحيط الجوى (الهواء) . وعندما تنطلق الرصاصة من سبطانة البندقية (بزاوية ٤٥ ° ، وبسرعة ابتدائية قدرها ٦٢٠م/ ثانية) ، فانها ترسم قوسا كبيرا جدا يبلغ ارتفاعه ١٠ كم ، وتقطع مسافة افقية قدرها ٤٠ كم . وفى الواقع ،



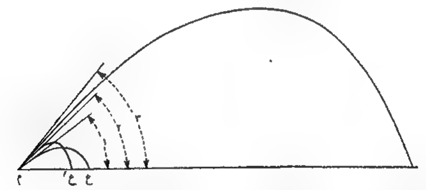
شكل ٢٨ : طيران الرصاصة فى الفراغ وفى الهواء . ان القوس المنقط الكبير يمثل الطريق الذى كانت ستسلكه الرصاصة فى حالة عدم وجود الهواء (المحيط الجوى) . اما القوس الصغير الى اليسار ، فيمثل المسار الحقيقى للرصاصة فى الهواء .

فان الرصاصة فى الظروف المذكورة لا ترسم الا قوسا صغيرا نوعا ما ، ولاتقطع الا مسافة تقدر بـ ٤ كم . والقوس الصغير المبيّن فى الشكل المذكور ايضا ، ليست له قيمة اذا ما قورن بالقوس الاول . تلك هى نتيجة مقاومة الهواء . اذا لم يكن ثمة هواء ، لأمكن رمى هدف على بعد ٤٠ كم .

الرماية البعيدة المدى

ان اول من استطاع رمى العدو على مسافة تقدر بمائة كيلومتر او اكثر ، هى المدفعية الالمانية . وذلك فى نهاية الحرب العالمية الاولى (عام ١٩١٨) ؛ عندما نجحت القوات الجوية الفرنسية والانكليزية فى القضاء على الغارات الجوية الالمانية . عندئذ اختارت هيئة اركان الحرب الالمانية وسيلة اخرى ، هى المدفعية ، لتدمير عاصمة فرنسا ، التى كانت تبعد عن الجبهة بما لا يقل عن ١١٠ كم .

وكانت تلك الوسيلة جديدة بالمرة ، لم يجربها احد من قبل ، توصل اليها رجال المدفعية الالمان صدفة . وكان ذلك عند الرمى من مدفع ثقيل بزاوية ارتفاع كبيرة ،



شكل ٢٩ : مراحل تغير مدى طيران القذيفة ، تبعا لتغيير زاوية ميل المدفع البعيد المدى . عند الزاوية ١ ، تسقط القذيفة فى النقطة ع ، وعند الزاوية ٢ ، تسقط القذيفة فى النقطة عَ ، اما عند الزاوية ٣ ، فيتضاعف مدى الرمى بمرات عديدة ، و ذلك لان القذيفة تمر اثناء طيرانها ، بطبقات الجو المخلخل .

حيث وجد فجأة ان القذيفة قطعت مسافة ٤٠ كم بدلا من ٢٠ كم . وظهر ان القذيفة المطلقة بقوس الى الاعلى ، بسرعة ابتدائية كبيرة ، تصل الى تلك الطبقات الجوية العليا المخلخلة ، حيث تصبح مقاومة الهواء ضعيفة جدا ؛ وفي مثل هذا الوسط الضعيف المقاومة ، تقطع القذيفة الجزء الاكبر من طريقها ، وبعد ذلك تهبط بتقوس على الارض . ويبين الشكل ٢٩ ، بوضوح ، مدى الاختلاف الكبير بين المسافات التي تقطعها القذائف عند تغيّر زاوية الارتفاع .

وقد استخدم الالمان هذا الاكتشاف في اساس تصميم مدفع الرمي البعيد المدى لقصف مدينة باريس على بعد ١١٥ كم .

لقد تم صنع المدفع بنجاح ، بحيث استطاع الالمان طوال صيف عام ١٩١٨ ، ان يمطروا باريس بما يزيد على ٣٠٠ قذيفة .

وقد عرف عن ذلك المدفع بعدئذ .

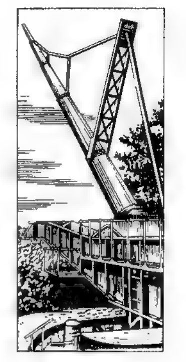
انه كان يتكون من سبطانة فولاذية ضخمة يبلغ طولها ٣٤ م ، وسمكها متر واحد . اما سمك جدران المغلاق فقد بلغ ٤٠ سم . وكان المدفع باكمله يزن ٧٥٠ طنا ، وبلغ طول قذيفته التي تزن ١٢٠ كجم ، مترا واحدا وسمكها ٢١ سم . وقد بلغت كمية البارود المستخدم في العبوة الواحدة ١٥٠ كجم ؛ والضغط الناتج بداخلها يساوي ٥٠٠٠ ضغط جوّي ، وهو الذي جعل القذيفة تنطلق بسرعة ابتدائية قدرها ٢٠٠٠م/ ثانية . وكان الرمي يتم بزاوية ارتفاع قدرها ٥٢° ، ورسمت القذيفة قوسا كبيرا جدا ، بلغ ارتفاع اعلى نقطة فيه ٤٠ كم عن سطح الارض ، اي توغلت في الستراتوسفير (طبقة من المحيط الجوي) .

لقد قطعت القذيفة المسافة من الجبهة الى مدينة باريس — ١١٥ كم — بزمن قدره ٣ر٥ دقيقة ، استغرق تحليق القذيفة في الستراتوسفير دقيقتين منها .

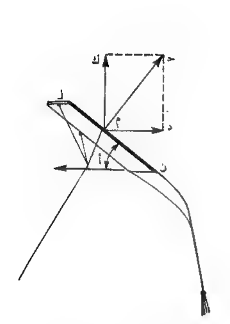
هكذا بدا اول مدفع للرمي البعيد المدى وكان اساس تطور المدفعية البعيدة المدى الحديثة . وكلما زادت السرعة الابتدائية للرصاصة او القذيفة ، كلما زادت معها مقاومة الهواء . اذ انها لا تزداد طرديا مع السرعة ، بل اكثر من ذلك ، اي تزداد طرديا مع مربع السرعة او مكعب السرعة .. وهكذا ، تبعا لمقدار تلك السرعة .

لماذا ترتفع الطيارة الورقية الى الاعلى

هل تعرف لماذا ترتفع الطيارة الورقية الى الاعلى عندما تجرها من الخيط الى الامام ؟ اذا كنت تعرف ذلك ، فانك تعرف ايضا لماذا تطير الطائرات ، ولماذا تطير في



شكل ٣٠ : منظر خارجي للمدفع الالماني العملاق .



شكل ٣١ : القوى المؤثرة على طيارة الورق .

الهواء بذور بعض النباتات ، وسيمكنك الى حدّ ما ان تعلل اسباب الحركات الغريبة لسلاح البُوميرنج *، وذلك لان كل هذه الظواهر تخضع لنظام واحد . ان الهواء الذي

* سلاح استرالي خشبي قديم يرمى به فيعود الى قاذفه (المعرب) .

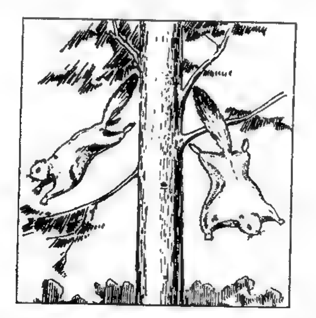
بشكل عقبة كبيرة امام انطلاق الرصاصة والقذيفة ، يساعد بالذات ، لا على طيران بذور الاسمندن الخفيفة او الطيارة الورقية فحسب ، بل ويساعد كذلك على طيران الطائرة الثقيلة المحملة بعشرات الركاب .

ولكي نشرح سبب ارتفاع الطيارة الورقية الى الجو ، سنلجأ الى استخدام الرسم التخطيطي المبسط . لنفرض ان الخط ل ن (شكل ٣١) يمثل المقطع العرضى للطيارة الورقية . وعندما نطلق الطيارة الورقية ونسحبها من الخيط ، فانها تتحرك براوية مع الافق بسبب ثقل ذيلها . ولنفرض انها تتحرك من اليمين الى اليسار . نرمز الى زاوية ميل مستوى الطيارة الورقية مع الافق بالحرف أ . والآن لندرس القوى المؤثرة على الطيارة الورقية اثناء حركتها . ان الهواء بطبيعة الحال ، يجب ان يعرقل حركتها ويضغط عليها قليلا . وهذ الضغط موضح في الشكل ٣١ بالسهم م ج . ولما كان الضغط الناتج من الهواء يؤثر على السطح دائما بصورة عمودية ، لذا رسم الخط م ج عموديا على الخط ل ن . ويمكن تحليل القوة م ج الى مركّبتين ، وذلك برسم ما يسمى بمتوازى اضلاع القوى ، فنحصل على قوتين هما م د ، م ك عوضا عن القوة م ج . ان القوة م د تدفع الطيارة الورقية الى الوراء ، وبالتالى ، تقلل من سرعتها الابتدائية . اما القوة الاخرى م ك . فتسحب الطيارة الى الاعلى . وتقلل من وزنها . واذا كانت هذه القوة كبيرة الى حد كاف ، فانها تستطيع التغلب على وزن الطيارة وترفعها . وهذا هو سبب ارتفاع الطيارة الورقية الى الاعلى عندما نسحبها من الخيط الى الامام .

والطائرة العادية ، تشبه من حيث المبدأ الطيارة الورقية ، وقد استعيض فيها عن القوة المحركة اليدوية ، بالقوة المحركة للرفاس او المحرك النفاث ، وهى القوة التى تجعل الطائرة تتحرك الى الامام ، وبالتالى كما فى حالة الطيارة الورقية ، تحملها على الارتفاع الى الاعلى . لقد شرحنا هذه الظاهرة هنا شرحا تقريبيا ، وهناك عوامل اخرى تساعد على ارتفاع الطائرة فى الجو ، سنأتى على ذكرها فى الكتاب الثانى من « الفيزياء المسلية » .

طائرات شراعية حيّة

ان الطائرات ، كما رأينا ، لم تصنع على هيئة الطيور مطلقا ، ولكنها على الارجح صنعت على هيئة السنجاب الطائر او السمك الطائر . وبالمناسبة ، فان الحيوانات المذكورة اعلاه ، لا تستخدم اجنحتها الغشائية لغرض الارتفاع الى الاعلى ، بل تستخدمها لغرض واحد ، هو القيام بقفزات كبيرة ، اى « الهبوط الهادف » كما يسمى بلغة الطيارين . ان القوة م ك (شكل ٣١) عند هذه الحيوانات ، غير كافية لموازنة ثقل الجسم موازنة تامة ؛ فهى تقلل من الوزن فقط ، وبذلك تساعد الحيوانات على القيام بقفزات كبيرة جدا من اماكن مرتفعة (شكل ٣٢) . ان السنجاب الطائر يقفز لمسافة تتراوح بين ٢٠ و ٣٠ م من قمة احدى الاشجار الى الاغصان السفلى لشجرة اخرى . ويوجد فى الهند



شكل ٣٢ : السنجاب الطائر اثناء تحليقه فى الهواء . ويستطيع هذا السنجاب ان يقفز من مكان مرتفع الى مسافة تتراوح بين ٢٠ — ٣٠ م .

وسيلان نوع كبير جدا من السنجاب الطائر — تجوان — وهو بحجم القطة ؛ وعندما ينشر « جناحه » ، يصل طوله ، اى طول « الجناح » ، الى نصف متر . ان هذه الابعاد الكبيرة للاجنحة الغشائية ، تساعد الحيوان على القفز لمسافة ٥٠ م ، على الرغم من وزنه الكبير نوعا ما .

بالونات طائرة من النباتات

ان النباتات بدورها ، كثيرا ما تلجأ الى الطيران الشراعى ، وخاصة لغرض نشر ثمارها وبذورها . وهناك بذور وثمار كثيرة مزودة اما بحزم من الشعيرات (كما فى نباتات الهندباء البرية وذقن المعزة والقطن) ، التى تعمل مثل المظلة (البراشوت) ، او مزودة بما يشبه الاجنحة وغير ذلك . ويمكن ملاحظة مثل هذه الطائرات الشراعية النباتية فى كل من النباتات التالية : الصنوبر والاسفندان والدردار والبتولا والبقيصا والزيزفون وانواع كثيرة من النباتات ذات الازهار الخيمية وغيرها .

وقد كتب كيرنير فون ماريلون حول ذلك فى كتابه الممنون « حياة النباتات » ، ما يلى :

« فى الايام الصحوة عندما تكون الرياح هادئة ، يرتفع الكثير من البذور والثمار بتيار الهواء العمودى ، الى ارتفاع شاهق ، ولكن بعد غياب الشمس تهبط عادة من جديد ، فى مكان لا يبعد كثيرا عن المكان الاول . وهذا النوع من الطيران لا يكون مهما لانتشار النباتات على مساحات واسعة ، بقدر ما هو مهم بالنسبة لدخولها واستقرارها فوق الافاريز وفي شقوق المنحدرات الشديدة الميل والصخور الرأسية ، حيث لا تستطيع الوصول الى مثل هذه الاماكن بطريقة اخرى عدا الطيران . اما تيارات الهواء المتحركة بصورة افقية ، فيمكنها حمل البذور والثمار التى تحوم فى الجو ، الى مسافات بعيدة جدا .

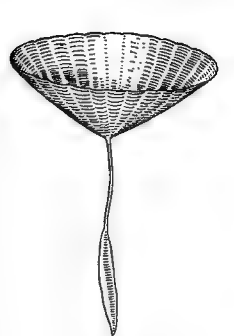
وفي بعض النباتات ، تبقى المظلات والاجنحة متصلة بالبذور اثناء الطيران فقط .

ان بذور النبات المسمى برأس القنفذ (نبات شائك) ، تسبح فى الهواء بشكل هادئ ، ولكنها سرعان ما تنفصل عن مظلاتها وتسقط على الارض عندما تصدم بحائل ما . وهذا يوضح سبب كثرة وجود بذور رأس القنفذ قرب الجدران والاسوار . وفى

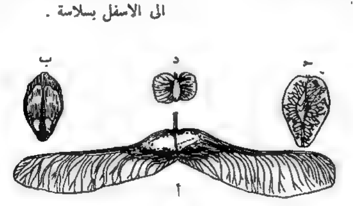
حالات اخرى ، تبقى البذور دائما متصلة بظلاتها » .

ويوضح الشكلان ٣٣ و ٣٤، بعض الثمار والبذور المزودة بأشرعة للطيران .

والطائرات الشراعية النباتية ، اكثر دقة وكمالا من الطائرات الشراعية التي يصنعها الانسان من عدة نواح . فهي ترفع حملا كبيرا جدا بالمقارنة مع وزنها الذاتي . وبالاضافة الى ذلك ، فان هذه الطائرة النباتية تمتاز بالاستقرار الاوتوماتي: اذا اديرت بذرة نبات الياسمين الهندي ، فانها تعود ذاتيا الى وضعها الاول بجانبها المحدب الى الاسفل ، واذا صادفت البذرة اثناء طيرانها حاجزا ما ، فانها لا تفقد توازنها ولا تسقط ، بل تهبط الى الاسفل بسلاسة .



شكل ٣٣ : ثمرة نبات « ذقن لمعزة » .



شكل ٣٤ : البذور الطائرة لبعض النباتات : أ – بذور اشجار الاسفندان (القيقب) ، ب – بذور اشجار الصنوبر ، جـ – بذور اشجار البقيصا (الدردار) ، د – بذور اشجار البتولا .

قفزة المظلي مع تعويق فتح المظلة (القفزة المعوّقة)

تعود بنا الذاكرة هنا الى القفزات البطولية التى قام بها ابطال رياضة القفز بالمظلات فى الاتحاد السوفييتى ، عندما القوا بانفسهم من ارتفاع يصل الى ١٠ كم تقريبا ، دون ان يفتحوا مظلاتهم الا بعد ان اصبحوا على ارتفاع لا يتجاوز مئات الامتار عن سطح الارض . (لقد قام المظليون السوفييت عام ١٩٦٣ بالقفز من ارتفاع ٢٥ كم) .

ويعتقد الكثير من الناس ، ان الرياضى عندما يسقط كالحجر دون ان يفتح مظلته ، فانه يهبط الى الاسفل كما يحدث فى الفراغ . ولو كان الامر كذلك - اى لو سقط الرياضى فى الهواء كما يسقط فى الفراغ - لاستغرقت القفزة المعوّقة زمنا يقل بكثير عما هو عليه فى الواقع ، ولكانت السرعة الناتجة فى النهاية كبيرة للغاية .

ولكن مقاومة الهواء تعرقل زيادة السرعة . ان سرعة جسم المظلى اثناء القفزة المعوقة ، تزداد فقط خلال الثوانى العشر الاولى ، لمسافة تساوى بضع مئات من الامتار . وتزداد مقاومة الهواء بزيادة السرعة ، وتصل زيادة المقاومة الى حد كبير ، بحيث سرعان ما تحل اللحظة التى تصبح فيها السرعة ثابتة ، ويصبح تسارع الجسم منتظما .

ويمكن بواسطة الحساب ان نوضح الملامح العامة لشكل القفزة المعوقة من وجهة نظر الميكانيكا . ان تسارع جسم المظّلى عند هبوطه ، يستمر لفترة الاثنتى عشرة ثانية الاولى فقط ، او اقل من ذلك بعض الشىء ، تبعا لوزنه . ويستطيع خلال الثوانى العشر الاولى ، ان يهبط لمسافة تتراوح بين ٤٠٠-٤٥٠ م ، ويكتسب سرعة تبلغ حوالى ٥٠ م/ثانية . اما كل ما يتبقى من الطريق حتى لحظة انفتاح المظلة ، فيقطعه الجسم بحركة منتظمة بالسرعة السابقة .

وبنفس الطريقة تقريبا تتساقط قطرات المطر . ولكن الاختلاف يكمُن فى شىء واحد فقط ، وهو ان المرحلة الاولى للسقوط ، عندما تكون السرعة بعد ، فى حالة ازدياد ، لا تستغرق بالنسبة لقطرة المطر الا حوالى ثانية واحدة او حتى اقل من ذلك . ولهذا السبب ، لا تكون السرعة النهائية لقطرة المطر كبيرة جدا ، كما هى عليه فى حالة القفزة المعوقة للمظلى . اذ انها تتراوح بين ٢ - ٧ م/ ثانية تبعا لحجم القطرة .

ان هذا السلاح الغريب ، الذى يعتبر من اتقن المنتجات التكنيكية التى حققها الانسان البدائى ، حيّر العلماء لمدة طويلة من الزمن . وفى الحقيقة ، فان الاشكال الغريبة المعقدة ، التى يرسمها البوميرنج فى الهواء (شكل ٣٥) ، تحيّر كل الناس .

اما فى الوقت الحاضر ، فقد شرحت نظرية تحليق البوميرنج شرحا وافيا ، وبذلك زالت الدهشة التى تملكت عقول الناس . وسوف لن نتعمق الآن فى بحث هذه التفاصيل الطريفة ، بل سنكتفى بالقول ، بان هذه الخطوط العجيبة التى يرسمها البوميرنج اثناء تحليقه ، ما هى الا نتيجة لتفاعل ثلاثة عوامل هى : ١) الرمية الابتدائية ، ٢) دوران البوميرنج ، ٣) مقاومة الهواء .



شكل ٣٥ : الطريقة التى يستخدم بها الاسترالى سلاح البوميرنج فى الصيد ، للقضاء على فريسته من وراء حاجز ما . والخط المنقط يبين الطريق الذى يسلكه البوميرنج عندما يرمى ولا يصيب الهدف .

ان الاسترالي يستطيع بالغريزة ان يوحد بين هذه العوامل الثلاثة . اذ انه يغيّر زاوية ميل البوميرنج وقوة الرمية واتجاهها ، بمهارة ، للحصول على النتيجة المطلوبة . وعلى ايّة حال ، فباستطاعة كل منّا ان يتعلم رمي البوميرنج نوعا ما .

ولكي نتدرب على ذلك في داخل الغرف ، يجب الاكتفاء ببوميرنج ورقي ، يمكن قصّه من الورق المقوى على الصورة المبينة في الشكل ٣٦ ، بحيث يبلغ طول كل فرع حوالي ٥ سم ، وعرضه اقل من ١ سم بقليل . ثبّت هذا البوميرنج الورقي تحت ظفر الابهام ، وانقفه بأصبعك الى الامام بحيث يتجه قليلا الى الاعلى . سيطير البوميرنج لمسافة ٥ م ، ويرسم بسلاسة ، منحنى ، يكون احيانا معقدّا جدا ، ولذا لم يصطدم بحاجز ما في الغرفة ، فانه يعود ليسقط تحت قدميك .

وتكون التجربة اكثر نجاحا ، اذا كان شكل البوميرنج والابعاد المبينة في الشكل ٣٧ ، كما هي عليها في الطبيعة . ومن المفيد ان نبرم فرعي البومرنج ، كما هو مبيّن في الشكل ٣٧ في الاسفل . ويمكن جعل مثل هذا البوميرنج ، بعد تدريب قليل ، ان يرسم في الهواء منحنيات معقدة ويعود الى المحل الذي انطلق منه .



شكل ٣٦ : البوميرنج الورقي وطريقة رميه .



شكل ٣٧ : صورة اخرى للبوميرنج الورقي (بالحجم الطبيعي) .



شكل ٣٨ : صورة لمحارب مصرى قديم يرمى سلاح البوميرنج .

واخيرا ، نلاحظ ان البوميرنج لا يمثّل مطلقا ، كما يفكر البعض عادة ، سلاحا ينفرد به الاستراليون وحدهم . انه يستخدم فى مناطق متعددة من الهند ، وكما يتبيّن من بقايا الرسوم الجدارية الاثرية ، فقد كان البومرنج فى وقت ما سلاحا مألوفا لدى الجنود الاشوريين (شكل ٣٨). وقد اشتهر البوميرنج كذلك فى مصر القديمة وفى النوبة. اما الشىء الوحيد الذى انفرد به الاستراليون فى هذا المجال ، فهو اعطاء البوميرنج شكل المنحنى الملولب . ولهذا السبب ، يقوم البوميرنج الاسترالى اثناء انطلاقه برسم منحنيات معقدة ، وعندما لا يصيب الهدف ، يعود مرة اخرى ليستقر بين قدمى راميه .

الفصل الرابع

الدوران « المحرك الدائم الحركة »

كيف نميّز البيضة المسلوقة عن النيئة ؟

كيف نتصرف اذا اردنا ان نعرف فيما اذا كانت البيضة مسلوقة ام نيئة ، بدون ان نكسر قشرتها ؟ ان معرفة علم الميكانيكا تساعدنا على الخروج من هذا المأزق البسيط بنجاح .

وتتلخص المسألة في ان دوران البيضة المسلوقة يختلف عن دوران البيضة النيئة . وبذلك يمكن التوصل الى حل هذه المسألة . نضع البيضة المراد فحصها على طبق مسطح ونحركها باصبعينا حركة دورانية (شكل ٣٩) . وفي هذه الحالة ، فان البيضة المسلوقة (وخاصة الجامدة) تدور اسرع كثيرا من البيضة النيئة ولمدة اطول . اما البيضة النيئة ، فمن الصعب ان نجعلها تدور ، في الوقت الذى تدور فيه البيضة الجامدة



شكل ٣٩ : طريقة تدوير (تدويم) البيضة .



شكل ٤٠ : يمكن تمييز البيضة المسلوقة عن البيضة النيئة وذلك بتدوير البيضتين بعد تعليقهما بخيطين .

بسرعة كبيرة ، بحيث تتحول ملامحها بالنسبة للعين الى مجسم القطع الناقص ، بلون ابيض وشكل مسطح ، حتى انها قد تقف بالذات على طرفها المدبب .

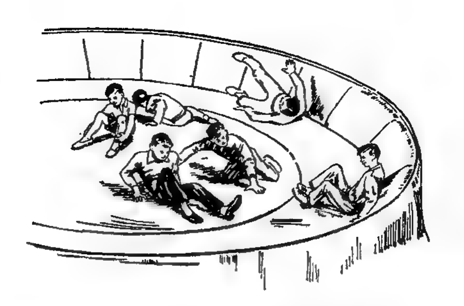
ان سبب هذه الظواهر يتلخص في ان البيضة الجامدة تدور مثل الجسم المصمت برّمته . اما في البيضة النيئة ، فان السوائل الموجودة في داخلها لا تبدأ بالحركة الدورانية مباشرة . وبسبب قصورها الذاتي ، تؤخر حركة القشرة الصلبة ، وتكون بذلك قد قامت بدور الكابح .

وكذلك يختلف تصرف البيضة المسلوقة عن تصرف البيضة النيئة في حالة ايقاف الدوران . فاذا لمسنا البيضة المسلوقة باصبعنا وهي في حالة دوران ، لتوقفت في الحال . اما البيضة النيئة ، فلا تتوقف في الحال ، بل تدور قليلا حتى بعد رفع الاصبع عنها . ان هذا يحدث بسبب القصور الذاتي ايضا . وذلك لأن الكتلة السائلة الموجودة في داخل البيضة النيئة ، تستمر في دورانها بعد ان تصبح القشرة الصلبة ساكنة . اما محتويات البيضة المسلوقة ، فتتوقف في نفس اللحظة التي تتوقف فيها القشرة الخارجية .

ويمكن اجراء مثل هذه التجربة بطريقة اخرى . ثبت حلقتين مطاطيتين طوليا ، حول بيضتين ، احداهما نيئة والثانية مسلوقة ، وعلقهما بخيطين متساويين في الطول (شكل ٤٠) . ابرم كلا الخيطين عددا متساويا من المرات ، ثم اتركهما ، فيظهر الفرق حالا بين البيضة المسلوقة والبيضة النيئة . بعودة البيضة المسلوقة الى وضعها الابتدائي ، تبدأ تحت تأثير القصور الذاتي ببرم الخيط في الاتجاه المعاكس ، ثم تعيد برمه مرة اخرى ، وهكذا الى ان يقل عدد الدورات بالتدريج . اما البيضة النيئة فانها تدور مرة فأخرى ، ثم تتوقف قبل توقف البيضة المسلوقة بكثير . وذلك لان السوائل الموجودة في داخلها تكبح حركتها .

الدوامة المضحكة

افتح مظلتك الشمسية وثبت نهايتها في الارض ودورّها من مقبضها . سوف لا تجد اية صعوبة في تدوير المظلة بسرعة كبيرة . والآن ، اقذف كرة او قطعة مكرمشة



شكل ٤١ : « الدوامة المضحكة » . ان الناس الموجودين على هذه الدوامة الدوارة يطرحون جانبا نحو اطرافها .

من الورق الى داخل المظلة ، سترى ان الشيء الذى قذفته ، لن يستقر داخل المظلة بل يطرد منها ، نتيجة لوجود ما يسمى خطأ بـ « القوة الطاردة المركزية » والتى ما هى فى الحقيقة الا قوة القصور الذاتى ، ولا تطرد الكرة باتجاه نصف القطر ، بل باتجاه ملامس لمحيط الحركة الدائرية (الدورانية) .

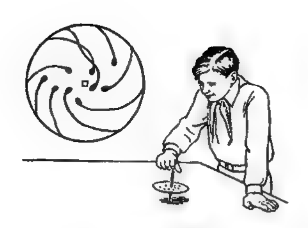
وعلى اساس هذا التأثير الناتج من الحركة الدورانية ، تم صنع وسيلة اللهو الممتعة المسماة بـ « الدوامة المضحكة » (شكل ٤١) ، والتى يمكن مشاهدتها مثلا ، فى حدائق الراحة فى موسكو . وهنا يستطيع الزوار ان يعرضوا انفسهم لتأثير قوة القصور الذاتى . توجد هناك رقعة دائرية من الارض ، يستطيع الزوار ان يقفوا او يجلسوا او يتمددوا عليها ، كلّ حسب رغبته . ثم يأخذ المحرك المخفى تحت تلك الرقعة من الارض ، بتدويرها بالقرب من المحور الرأسى بصورة سلسلة وبسرعة بطيئة فى البداية ،

ثم تزداد السرعة بعد ذلك بالتدريج . عندئذ يبدأ جميع الناس الموجودين فوق الاطار الدوّار ، بالانحدار زحفا نحو محيطها ، وذلك بتأثير القصور الذاتي . ان حركة الركاب هذه تكون فى البداية صعبة الملاحظة ، ولكن بقدر ابتعاد الركاب عن المركز ووصولهم الى المحيط اقرب فاقرب ، بقدر ما تصبح سرعة الحركة ، وبالتالى القصور الذاتى لها ، اكثر وضوحا من حيث تأثيرهما . ولن تستطيع اية قوة يبذلها الشخص ، ان تجعله يبقى فى مكانه ، ويلقى بالركاب بعيدا عن « الدوامة المضحكة » :

والكرة الارضية فى الحقيقة تشبه « الدوامة المضحكة » مع فارق واحد ، هو ان ابعادها متناهية فى الكبر . والارض بطبيعة الحال ، لا تقذف بنا عن سطحها ، ولكنها مع ذلك تقلل من وزننا . وعند خط الاستواء ، حيث تكون سرعة دوران الارض اكبر ما يمكن ، يصل نقصان الوزن الناتج عن السبب المذكور الى $\frac{١}{٣٠٠}$ من الوزن الكلى . واذا اضيف الى ذلك سبب آخر (انضغاط الارض) ، فان وزن اى جسم عند خط الاستواء ، يقل بصورة عامة بمقدار نصف فى المائة (اى بمقدار $\frac{١}{٢٠٠}$) . وهكذا ، فان وزن جسم الشخص البالغ ، يقل عند خط الاستواء بحوالى ٣٠٠ جم ، عما هو عليه عند القطب .

زوابع الحبر

لنأخذ قرصا من الورق المقوى الأملس الابيض اللون ، ونثقبه من المركز بعود ثقاب حاد الطرف ، يبقى ثابتا فيه ، فنحصل بذلك على دوّامة صغيرة ، مبينة فى الشكل ٤٢ الى اليسار ، بابعادها الطبيعية . ولا نحتاج الى لباقة خاصة لكى نجعل هذه الدوامة تدور اذ يكفى ان نبرم عود الثقاب بين اصابعنا ونطرح الدوامة بسرعة على سطح مصقول . ويمكننا بهذه الدوامة اجراء تجربة مثالية جدا . قبل البدء بتدوير الدوامة ، نضع فوق سطح القرص عدة قطرات صغيرة من الحبر ، ونجعل الدوامة تدور قبل ان يجف الحبر . وعندما تكف



شكل ٤٢ : كيفية انسياب قطرات الحبر على قرص الورق الدوار .

الدوامة عن الدوران ، نرى ان كل قطرة من الحبر قد جرت فى خط حلزونى ، وان جميع هذه الخطوط الحلزونية تكوّن مع بعضها شكلا يشبه شكل العاصفة .

وهذا التشابه ليس وليد الصدفة . فماذا تعنى خطوط الحبر الحلزونية المرسومة على سطح القرص ؟ انها آثار حركة قطرات الحبر . ان القطرة ايضا ، تتعرض لنفس القوة التى يتعرض لها الانسان الموجود فوق سطح القرص الدوار « الدوامة المضحكة » . فعندما تزاح عن المركز بتأثير القوة الطاردة المركزية ، تصل الى تلك المواضع من القرص ، التى تكون سرعة دورانها اكبر من سرعة القطرة بالذات . وفى هذه المواضع ينزلق القرص من تحت القطرة ويسبقها . ويتم ذلك ، كما لو كانت القطرة قد تأخرت عن القرص وتراجعت الى مؤخرة نصف القطر (باتجاه المحيط) . ولهذا السبب ، يكون طريقها متعرجا . ويبدو اثر هذه الحركة المتعرجة ، واضحا على سطح القرص .

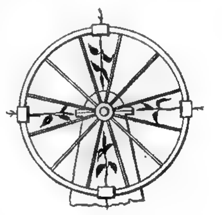
ويحدث نفس الشيء لتيارات الهواء المنطلقة من اماكن الضغط الجوى المرتفع (فى « الاعاصير المضادة ») او المتجهة نحو اماكن الضغط الجوى المنخفض (فى « الاعاصير الحلزونية ») .

ان خطوط الحبر الحلزونية هى صورة مصغرة لهذه الزوابع الهوائية الضخمة .

النباتات المخدوعة

عندما يكون الدوران سريعا ، قد تصل القوة الطاردة المركزية الى حد كبير قد يفوق قوة الجاذبية . والتجربة الممتعة التالية ، تبيّن مدى ضخامة القوة الطاردة ، التى تنتج عند دوران الدولاب العادى .

اننا نعرف ان النباتات الحديثة العمر ، توّجه سيقانها فى اتجاه معاكس لقوة الجاذبية الارضية ، اى باختصار ، تنمو الى الاعلى . ولكن ، لنجعل البذور تطر ، عند وجودها على اطار عجلة سريعة الدوران ، كما فعل ذلك لاول مرة ، عالم النبات الانكليزى نايت قبل اكثر من مائة عام مضت . سترى شيئا مدهشا : سوف تتجه جذور الزريعة الى الخارج ، والسيقان الصغيرة الى الداخل بمحاذاة انصاف اقطار الدولاب (شكل٤٣).


شكل ٤٣ : بذور الفول النامية على حتار دولاب دوار . ان سيقان النبات متجهة نحو المحور ، اما الجذور فمتجهة الى الخارج .

لقد خدعنا النبات تماما . اذ اننا اثرنا عليه بقوة اخرى غير قوة الجاذبية الارضية ، وهى متجهة من مركز الدولاب الى الخارج ولما كانت الزريعة تنمو دائما عكس اتجاه الجاذبية ، فانها فى هذه الحالة قد اتجهت الى داخل الدولاب من الاطار الى المحور (المركز) . وهكذا ظهر ان الجاذبية الاصطناعية اقوى من الجاذبية الارضية الحقيقية * ، وقد نما النبات الحديث العمر تحت تأثيرها .

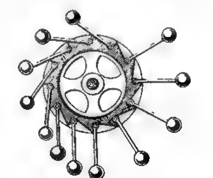
* وبالمناسبة فان نظرية الجاذبية الحديثة ، لا تتعارض مطلقا ، من حيث المبدأ ، مع ما جاء فى هذه التجربة من ايضاحات .

وفى المستقبل ، عندما تبدأ الرحلات الفضائية البعيدة الى كواكب اخرى من المنظومة الشمسية ، سوف يتم بموجب هذا المبدأ انشاء مستنبتات زجاجية على السفن الفضائية لتأمين الغذاء لملاّحى تلك السفن . واول من اقترح فكرة المستنبتات الزجاجية الفضائية عام ١٩٣٣ ، هو مؤسس علم الملاحة الفضائية ، العالم الروسى العظيم تسيولكوفسكى

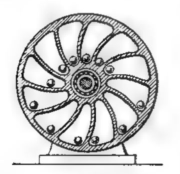
«المحركات الدائمة الحركة»

كثيرا ما يتحدث الناس عن كل من « المحرك الدائم الحركة » و« الحركة الدائمة » بالمعنيين الحرفى والمجازى . ولكن الجميع لا يدركون المعنى الحقيقى لما يراد بالتعبيرين المذكورين .

ان المحرك الدائم الحركة ، ما هو الا آلة وهمية ، تتحرك بنفسها حركة دائمية ، وتقوم بالاضافة الى ذلك ، بانجاز بعض الاعمال الاخرى النافعة (كرفع الاحمال مثلا). ولم يستطع احد ان يصنع مثل هذه الآلة ، مع ان محاولات اختراعها قد بدأت منذ زمن بعيد . وقد أدى عقم تلك المحاولات ، الى الاعتقاد الراسخ باستحالة وجود المحرك



شكل ٤٤ : عجلة ذات حركة دائمية موهومة ، ابتكرت فى القرون الوسطى .



شكل ٤٥ : محرك « دائم الحركة » يحتوى على كريات تتدحرج فى داخله .

الدائم الحركة ، والى وضع قانون حفظ الطاقة ــ اساس العلم الحديث . اما فيما يتعلق بالمحرك الدائم الحركة ، فيقصد به تلك الحركة الدائمية التي لا تنتج عملا .

ويوضح الشكل ٤٤ ، الآلة الذاتية الحركة ، الوهمية ــ احد اقدم التصاميم التي وضعت للمحرك الدائم الحركة ، الذي يحاول بعض المتعصبين الفاشلين في عصرنا هذا ، ان يتحدثوا احيانا عن اعادة النظر فيه . لقد ثبتت حول محيط الدولاب قضبان قلاّبة ، وضعت في اطرافها الحرة اثقال . وعند اي وضع للدولاب ، تصبح الاثقال الموجودة في جهته اليمنى اكثر اندفاعا عن المركز من الاثقال الموجودة في الجهة اليسرى . وبالتالي ، يتحتم على النصف الايمن دائما ان يسحب وراءه النصف الايسر ، وبذلك يجبر الدولاب على الدوران . يعني ان الدولاب يجب ان يدور بصورة ازلية ، او على الاقل ، الى حين ان يبلى محوره . هكذا فكر المخترع . وبهذه المناسبة ، لو صنعنا مثل هذا المحرك ، فانه لن يدور . لماذا اذن لم يتحقق حساب المخترع ؟

السبب هو ، انه بالرغم من ان الاثقال الموجودة في الجهة اليمنى تكون دائما ابعد عن المركز من الاثقال الموجودة في الجهة اليسرى ، لا بد من حدوث الحالة التي يكون فيها عدد الاثقال في الجهة اليمنى اقل مما هو عليه في الجهة اليسرى . واذا نظرنا الى الشكل ٤٤ ، لرأينا وجود ٤ اثقال في الجهة اليمنى و ٨ اثقال في الجهة اليسرى. ويظهر ان النظام باجمعه في حالة توازن ، ومن الطبيعي الا يدور الدولاب ، بل سيتأرجح عدة مرات ، ثم يتوقف في مثل هذه الوضعية * .

والآن ، لا يمكن نقض ما اثبتناه بخصوص استحالة صنع الآلة التي تتحرك ذاتيا ، حركة دائمية ، وتقوم اثناء ذلك بانجاز عمل آخر . ومن العبث تماما ان يفكر الانسان بهذه المسألة . وفي العصور الماضية ، وخاصة في القرون الوسطى ، اتعب الناس تفكيرهم بلا جدوى ، محاولين التوصل الى حل هذه المسألة ، وصرفوا كثيرا من وقتهم وجهودهم في سبيل اختراع « المحرك الدائم الحركة » الذي يسمى باللغة اللاتينية (perpetuum mobile).

---

* يتم شرح حركة مثل هذا النظام بمساعدة ما يسمى بنظرية العزم .

وقد كان الحصول على مثل هذا المحرك ، اكثر اغراء للناس ، حتى من عملية الحصول على الذهب من المعادن الرخيصة *

وقد جاء ذكر احد هؤلاء الحالمين وهو بيرتولد فى رواية « عهود الفروسية » للشاعر الروسى العظيم الكسندر بوشكين الذى عاش فى القرن التاسع عشر .

يسأل مارتن زميله بيرتولد :

— ما هو المحرك الدائم الحركة ؟

فيجيبه بيرتولد قائلا :

— انه حركة دائمة الى الابد . فاذا حصلت على المحرك الدائم الحركة ، فسوف لا ارى حدودا لابداع الانسان .. الاترى يا صديقى العزيز مارتن ، ان صنع الذهب هو مسألة مغرية ، واكتشاف قد يكون طريفا ومربحا . اما الحصول على المحرك الدائم الحركة .. فهو امر رائع ! .

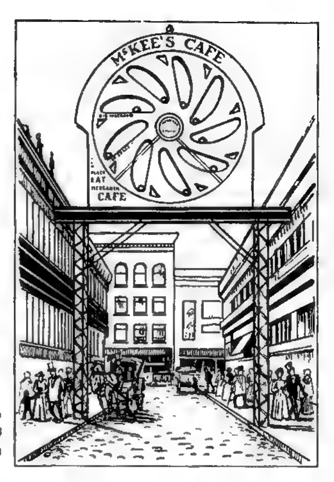
لقد صممت مئات الانواع من « المحركات الدائمة الحركة » ولكنها جميعا لم تتحرك . وفى كل حالة ، كما فى مثالنا السابق ، لم ينتبه المخترع الى عامل من العوامل ، الامر الذى أدى الى فشل جميع التصاميم .

وهذا نموذج آخر للمحرك الدائم الحركة المزعوم : دولاب يحتوى على كريات ثقيلة تتحرك فى داخله (شكل ٤٥) . لقد تصور المخترع ان الكريات الواقعة فى احدى جهتى الدولاب قريبا من المحيط ، تؤثر بثقلها على الدولاب وتجبره على الدوران .

ومن البديهى ان ذلك لن يحدث ، لنفس السبب الذى ذكرناه فى حالة الدولاب المبين فى الشكل ٤٤ . غير انه تمّ فى احدى مدن امريكا ، اقامة دولاب ضخم جدا ، من هذا النوع بالذات (شكل ٤٦) لغرض الدعاية ولفت انظار الناس الى احدى المقاهى . وبطبيعة الحال فقد كان هذا « المحرك الدائم الحركة » يدار بواسطة آلة اخرى اخفيت عن الناس بصورة فنية ، مع ان المشاهدين كانوا يتصورون ان الكريات الثقيلة المتدحرجة

---

* وذلك بواسطة ما يسمى عند العرب بحجر الفلاسفة (المعرب) .



شكل ٤٦ : محرك « دائم الحركة » نصب فى مدينة لوس انجلس (كاليفورنيا) ، لغرض الدعاية .

فى ثنايا الدولاب ، هى التى تحركه . .وقد وجدت نماذج اخرى مزعومة للمحرك الدائم الحركة شبيهة بما ذكر اعلاه ، وضعت فى وقت ما فى واجهات محلات بيع الساعات ، لجلب انتباه الناس ، وكانت جميعها تدار بالتيار الكهربائى .

وفى احد الايام ، سبب لى احد محركات الدعاية هذه ، ازعاجا كبيرا * . لقد

* هنا يتحدث المؤلف عن نفسه .

اعجب تلاميذى بهذا المحرك اعجابا كبيرا ، الى حد لم يصدقوا معه كل ما اثبته لهم من استحالة صنع المحرك الدائم الحركة . ان منظر الكريات وهى تتدحرج فتحرك الدولاب ، الذى يرفعها بدوره الى الاعلى ، كان اكثر اقناعا لهم من البراهين التى قدمتها ؛ ولم يصدقوا بان هذه الآلة الميكانيكية العجيبة تدار بالتيار الكهربائى . والامر الوحيد الذى انقذنى ، هو علمى بان التيار الكهربائى عندئذ ، كان ينقطع عن المحلات المذكورة فى ايام العطل وقد انتهزت هذه الفرصة ، ونصحت تلاميذى بزيارة واجهات تلك المحلات فى الايام المذكورة . وقد عمل التلاميذ بنصيحتى . وسألتهم بعد ذلك :

— والآن ، هل رأيتم المحرك ؟

فاجابنى التلاميذ بارتباك :

— لا لم نره ، فقد كان مغطى بجريدة ...

وهكذا ، فقد عادت الى التلاميذ ثقتهم بقانون حفظ الطاقة ، ولن يتخلوا عن هذه الثقة بعد الآن .

صعوبة غير متوقعة

لقد اجتهد كثير من المخترعين الروس المتعلمين بانفسهم ، فى حل المسألة المغرية « للمحرك الدائم الحركة » . واحد هؤلاء ، هو الفلاح السيبيرى الكسندر شيجلوف ، المعروف باسم « البرجوازى الصغير بريزيتوف » فى رواية الكاتب الروسى الشهير سالتيكوف شيدرين ، المعنونة بـ « الحياة العصرية المسالمة » . واليكم ما يقوله الكاتب عن زيارته لورشة ذلك المخترع :

« كان البرجوازى بريزيتوف فى الخامسة والثلاثين من عمره ، ضعيفا ممتقع اللون ، وله عينان واسعتان مستغرقتان فى التأمل ، وقد تدلت جدائل شعره الطويل باستقامة حول رقبته . وكان منزله الريفى واسعا الى حد كاف . الا ان نصفه تماما كان مشغولا بدولاب موازنة كبير (حذافة كبيرة) ، بحيث لم يتسع لنا المنزل الا بصعوبة . وكان الدولاب يحتوى على برامق (صنّارات) ، وله اطار واسع جدا ، مصنوع من الواح

خشبية مرصوصة مع بعضها مثل الصندوق الفارغ . وفي داخل هذا الصندوق الفارغ حفظت الآلة ، التي كانت بمثابة سر المخترع . ولم يكن في السر تعقيد خاص ، وكل ما في الامر ، وجود اكياس من الرمل تعمل على موازنة بعضها البعض . وقد ادخلت عصا في احد البرامق ، لكي تجعل الدولاب يقف ساكنا .

وبدأت الحديث متسائلا :

— سمعنا انكم طبقتم عمليا قانون الحركة الدائمة ، فهل هذا صحيح ؟

فاجابني مرتبكا :

— لست ادري ماذا اقول ، يبدو انني قد فعلت ذلك .

فاستدركته قائلا :

— هل يمكننا الاطلاع على ذلك ؟

فاجابني :

— نعم ، وساكون سعيدا لو فعلتم ذلك ...

ثم قادنا نحو الدولاب وجعلنا نتجول حواليه ، فظهر ان هناك دولابا من كلتا الجهتين الامامية والخلفية .

— هل يدور الدولاب ؟

— يجب ان يدور ، ولكنه على ما يبدو متقلب الاطوار ... ويجب ان يتشاقى ..

— هل يمكننا سحب العصا ؟

وهنا سحب بريزنتوف العصا .. ولكن الدولاب لم يتحرك .

فقال ثانية :

— انه يتشاقى .. وهو بحاجة الى زخم .. ثم امسك الاطار بكلتا يديه واداره عدة مرات الى الاعلى والاسفل ، واخيرا رجّحه بقوة وتركه . فأخذ الدولاب يدور . قام الدولاب بعدة دورات سريعة وسلسة . وكنا نسمع كيف كانت اكياس الرمل داخل الاطار تستقر فوق الحواجز ثم تبتعد عنها ، وهكذا دواليك .. الى ان اصبح الدولاب يبطئ في دورانه شيئا فشيئا . ثم سمعنا اصوات قرقعة وصرير .. واخيرا توقف الدولاب نهائيا .

ثم قال المخترع بارتباك وهو يوضح :
— لا بد ان هناك شيئا ما ، ثم اعاد تدوير الدولاب مرة ثانية .
وقد حدث فى هذه المرة ايضا ، نفس الشيء الذى حدث فى المرة الاولى .
فقلت متسائلا :
— ربما لم تأخذوا الاحتكاك فى نظر الاعتبار عند التصميم ؟
فاجابنى قائلا :
— والاحتكاك ايضا أخذ بنظر الاعتبار .. مهلا .. الاحتكاك ؟ ! ليس هذا الخلل بسبب الاحتكاك .. بل لسبب مجرد .. انه يجعلك مسرورا لوقت ما ، وبعد ذلك يبدأ فجأة بالقرقعة والصرير — وينتهى كل شيء . تمنيت لو كان الدولاب مصنوعا من مادة جيدة وليس من نفايات (قراضات) .

وبطبيعة الحال ، لم يكن الامر متعلقا بـ « الخلل » او بـ « المادة الجيدة » بل كان يتعلق بعدم صحة الفكرة الاساسية لتصميم الآلة . لقد دار الدولاب قليلا ، نتيجة « للزخم » او الدفعة ، التى تلقاها من المخترع ، وكان لا بد له من التوقف بعد ان صرفت الطاقة التى اتته من الخارج ، فى التغلب على الاحتكاك .

القوة الرئيسية تكمن فى الكرات

ويتحدث الكاتب الروسى كارونين فى قصته المعنونة « المحرك الدائم الحركة » ، عن مخترع روسى آخر لهذا المحرك ، وهو فلاح من مقاطعة بيرم اسمه لافرينتى جولديريف (متوفى عام ١٨٨٤) ، قدمه كارونين فى قصته باسم بيختين .

ان كارونين ، الذى وصف الآلة بصورة مفصّلة ، كان يعرف المخترع شخصيا ، ويقول فى معرض الحديث :

« انتصبت امامنا آلة غريبة كبيرة الحجم ، تبدو لاول وهلة كالآلة التى تنعّل بها الخيول ، وتراءت امامنا بعض الاعمدة والعوارض الخشبية السيئة القشط ، ومجموعة

كاملة من الحذافات والعجلات المسننة ، وكانت كلها سمجة وخشنة وقبيحة المنظر . وهناك في الاسفل تماما ، ظهرت بعض الكرات الحديدية الملقاة على الارض ، وكان يوجد على بعد قليل كوم كاملة من تلك الكرات .

وسأل رئيسنا المخترع :

ـ هل هذه هى الآلة ؟

ـ نعم ، هى بالذات ..

ـ طيب .. وهل تدور ؟

ـ وكيف لا .. انها تدور بالطبع ..

ـ وهل تملك حصانا لكى يديرها ؟

فاجاب بيختين :

ـ وما فائدة الحصان ؟ انها تدور بنفسها .

قال ذلك وأخذ يطلعنا على تركيب هذه الآلة العجيبة .

ان الكرات الحديدية التى كانت مكوّمة على الارض ، هى التى لعبت الدور الرئيسى فى الموضوع . ثم استطرد بيختين قائلا :

ـ ان القوة الاساسية تكمن فى هذه الكرات .. انظروا ههنا . ان الكرة تصطدم اول الامر بهذه المغرفة .. ومنها تنطلق مثل البرق خلال هذا المجرى . وهناك تتلقفها هذه المغرفة فتطير كالمجنون الى ذلك الدولاب ، وتصدمه ثانية صدمة قوية بحيث تجعله يصخ . واثناء طيران هذه الكرة ، تكون هناك كرة اخرى فى طريقها الى نفس العمل .. حيث تطير مرة اخرى وتصطدم هنا ، ثم تنطلق خلال المجرى وتتلقفها المغرفة فتقذفها نحو الدولاب وتصدمه ثانية .. وهلم جرا . هكذا تعمل هذه الآلة ، والآن ساجعلها تدور .

وهنا أخذ بيختين يذرع السقيفة ذهابا وايابا ليجمع الكرات المبعثرة بسرعة ؛ واخيرا ، جمعها وكوّمها بالقرب منه ، ثم تناول احداها بيده وقذفها بقوة فى اقرب مغرفة من الدولاب ، ثم قذف الكرة الثانية والثالثة .. وهكذا . وهنا حدثت ضوضاء لا يمكن تصورها نتيجة لقعقعة الكرات عند اصطدامها بالمغارف الحديدية ، ولصرير الدولاب

الخشبي ، بالاضافة الى زحير الاعمدة . وقد ملأ كلّ هذا الضجيج الجهنمي ، ارجاء ذلك المكان شبه المظلم » .

وقد أكد كارونين بان آلة جولديريف تحركت . وما هذا الا سوء فهم واضح . يحتمل ان الآلة قد دارت ، عندما هبطت الكرات المرفوعة الى الاسفل — فقد كان باستطاعتها عندئذ تحريك الدولاب ، مثل اثقال الساعة الحائطية ، وذلك على حساب الطاقة الكامنة في الكرات اثناء رفعها الى الاعلى . ان مثل هذه الحركة لن تستمر طويلا : عندما تكون كافة الكرات المرفوعة الى الاعلى سابقا ، والمصطدمة بالمغارف ، قد استقرت في الاسفل ، تتوقف الآلة عن الحركة ، اذا لم تكن قد توقفت قبل ذلك نتيجة لمقاومة كافة تلك الكرات ، التي كان على الآلة ان ترفعها .

وبعد فترة من الزمن ، خاب امل المخترع نفسه بآلته التي اخترعها ، وذلك عندما عرضها امام الجمهور في معرض اقيم في مدينة اكاترينبرج ، وشاهد في نفس المعرض مكنات صناعية حقيقية . وعندما سئل عن « محركه الدائم الحركة » ، اجاب مكتئبا : لتذهب الى الشيطان . اذا اردتم ، فسوف احطمها واجعل منها وقودا للنار .

مركّم اوفيمتسيف

لقد بيّن الجهاز الذي يسمى بمركم اوفيمتسيف للطاقة الميكانيكية ، انه من السهولة الوقوع في الخطأ ، اذا ما حكمنا على الحركة « الدائمة » بمنظرها الخارجي .

لقد ابتكر اوفيمتسيف ، وهو مخترع من مدينة كورسك في الاتحاد السوفييتي نوعا جديدا من محطات توليد القدرة التي تدار بطواحين الهواء ، ذات مركّم بالقصور الذاتي ، رخيص الكلفة ، ومبني على غرار العجلة الحذّافة . لقد قام اوفيمتسيف عام ١٩٢٠ بصنع نموذج لذلك المركّم ، على هيئة قرص يدور على محور رأسي بمحمل كريات ، وموضوع في داخل غلاف مفرغ من الهواء . وبعد ان ادير القرص بسرعة ٢٠٠٠٠ دورة / دقيقة ، استمر في الدوران لمدة ١٥ يوما . وبملاحظة محور مثل هذا القرص وهو يدور لعدة ايام بكاملها دون تزويده بطاقة من الخارج ، يعتقد الانسان البسيط (السطحي النظرة) بان امامه تصميما حقيقيا للمحرك الدائم الحركة .

ان البحث اليائس عن المحرك « الدائم الحركة » ، جعل كثيرا من الناس تعساء للغاية . لقد تعرفت قبل الثورة * على عامل انفق كافة رواتبه ومدخراته النقدية ؛ على صنع نموذج للمحرك « الدائم الحركة » ، الى ان اصبح بنتيجة ذلك فى حالة من الفقر المدقع . وقد بات بذلك ضحية لافكاره التى لا يمكن تحقيقها . وكان يسير شبه عار ، وهو جائع على الدوام ، يطلب من جميع الناس ان يمنحوه شيئا من النقود لبناء « النموذج النهائى » الذى « سيتحرك حتما » لقد كان من المؤسف حقا ، الاعتراف بان هذا الشخص قاسى الحرمان لسبب واحد فقط ، هو جهله للمبادئ الاساسية للفيزياء .

والشيء الطريف هنا ، هو انه اذا كان البحث عن المحرك « الدائم الحركة » ، عقيما فى جميع الاحوال ، فانه على العكس من ذلك ، كثيرا ما أدى الادراك العميق لاستحالته ، الى اكتشافات مثمرة .

واروع مثال على ذلك ، هى تلك الطريقة التى مكنت العالم الهولندى البارز ستيفن من اكتشاف قانون توازن القوى على السطح المائل ، وقد عاش ستيفن فى الفترة الواقعة بين نهاية القرن السادس عشر وبداية القرن السابع عشر . ان هذا العالم الرياضى يستحق من الشهرة اكثر مما ناله ، لانه قام بكثير من الاكتشافات العلمية المهمة ، التى تستخدم الآن باستمرار : فقد استنبط الكسور العشرية ، وادخل مقامات الكسور فى علم الجبر ، واكتشف القانون الايدروستاتى ، الذى قام العالم باسكال بوضعه فيما بعد .

لقد اكتشف ستيفن قانون توازن القوى على السطح المائل ، دون الاعتماد على قاعدة متوازى اضلاع القوى ، بل بمساعدة الرسم المبيّن فى الشكل ٤٧ . لنضع سلسلة تتألف من ١٤ كرة صغيرة متساوية الحجم ، حول موشور ثلاثىّ . ماذا يحدث لهذه السلسلة ؟ ان القسم السفلى ، المتدلى كضفيرة زهور ، يتوازن بنفسه . ولكن هل يوازن

---

* ثورة اكتوبر الاشتراكية العظمى .

القسمان الباقيان بعضهما البعض ؟ وبعبارة اخرى ، هل توازن الكرتان الواقعتان فى الجهة اليمنى ، الكرات الاربع الواقعة فى الجهة اليسرى ؟ حتما ، والا لتحركت السلسلة من نفسها حركة مستمرة من اليمين الى اليسار . لانه فى كل مرة ، ستحل كرات جديدة محل الكرات المنزلقة ، ولن يعود التوازن مرة اخرى ابدا . ولكن ، بما اننا نعلم بان السلسلة



شكل ٤٧ : « معجزة وليست معجزة ».

الموضوعة بالطريقة المبينة ، لن تتحرك من تلقاء ذاتها ابدا ، فمن الواضح ان الكرتين الاوليتين ، تتوازنان مع الكرات الاربع الموجودة فى الجهة اليسرى . يبدو كأن فى الامر معجزة : قوة شد الكرتين تساوى قوة شد الكرات الاربع .

ومن هذه المعجزة ، استطاع ستيفن ان يحصل على قانون مهم فى علم الميكانيكا . وقد ناقش المسألة بالشكل التالى : ان لفرعى السلسلة — الطويل والقصير — وزنين مختلفين ، ويزيد وزن احدهما على وزن الثانى بعدد من المرات ، يساوى عدد مرات زيادة ضلع الموشور الطويل على ضلعه القصير . وينتج من ذلك ، ان اى ثقلين مربوطين بحبل ، يتوازنان مع بعضهما عند وضعهما على سطحين مائلين ، اذا تناسب وزناهما مع طولى السطحين المائلين .

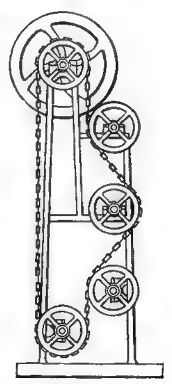
وفى الحالة الخاصة ، التى يكون فيها السطح القصير عموديا ، نحصل على قانون مشهور من قوانين الميكانيكا ، وهو : لكى يقف الجسم على سطح مائل ، يجب ان تؤثر فى اتجاه ذلك السطح ، قوة تقل عن وزن الجسم بعدد من المرات ، يساوى عدد مرات زيادة طول السطح على ارتفاعه .

وهكذا ، أدت الفكرة القائلة باستحالة المحرك الدائم الحركة ، الى اكتشاف هام فى علم الميكانيكا .

عدد آخر من «المحركات الدائمة الحركة»

يبين الشكل ٤٨ سلسلة ثقيلة تمر خلال عجلات ، بحيث يكون نصفها الايمن اطول من النصف الايسر في جميع الاحوال . وينتج — من وجهة نظر المخترع — ان النصف الايمن للسلسلة ، يجب ان يكون في حالة توازن مع النصف الايسر ، فيهبط الى الاسفل باستمرار ، وبذلك يجعل الآلة (العجلات) تتحرك برمتها . ولكن هل يحدث ذلك بالفعل ؟

ان ذلك لا يحدث بالطبع . وقد عرفنا مما سبق ، ان السلسلة الثقيلة قد تتوازن مع السلسلة الخفيفة ، اذا كانت القوى المسلطة عليهما ، مختلفة الميل . اما في هذه الآلة ، فان السلسلة اليسرى مشدودة عموديا ، والسلسلة اليمنى مائلة . ولذلك ، فمع انها اثقل ، لكنها لا تسحب السلسلة اليسرى . وهكذا لا يمكن في هذه الحالة الحصول على المحرك « الدائم الحركة » الذي توخيناه .



شكل ٤٨ : هل هذا محرك دائم الحركة ام لا ؟

ولعل اظرف هؤلاء المخترعين ، كان صاحب المحرك « الدائم الحركة » الذي عرض في ستينيات القرن الماضي ، في معرض باريس . كان المحرك يتألف من دولاب كبير ، يحتوي على كرات تتدحرج في داخله . وبهذه المناسبة ، فقد أكد المخترع انه لا يوجد انسان في العالم ، باستطاعته ايقاف حركة ذلك الدولاب . وقد حاول زوار المعرض واحد بعد الآخر ، ان يوقفوا الدولاب ، ولكن الدولاب كان يعاود الحركة دون ابطاء حالما ترفع عنه الايدي . ولم يخطر ببال احد، ان الدولاب يدور بفضل محاولة

13 Зак. 15662

الزوار ايقافه بالذات ، وذلك لانهم عندما يدفعونه الى الوراء ، فانهم بذلك يدوّرون الزنبرك الخاص بالآلة المخفية بمهارة ...

«المحرك الدائم الحركة» الذى اراد ان يقتنيه قيصر روسيا بطرس الاول

يحفظ الارشيف الآن ، تلك الرسائل الحماسية التى حررها قيصر روسيا بطرس الاول فى الفترة الواقعة بين عامى ١٧١٥ – ١٧٢٢ ، عندما اراد الحصول من المانيا على محرك دائم الحركة ، ابتكره شخص يدعى الدكتور اورفيريوس .

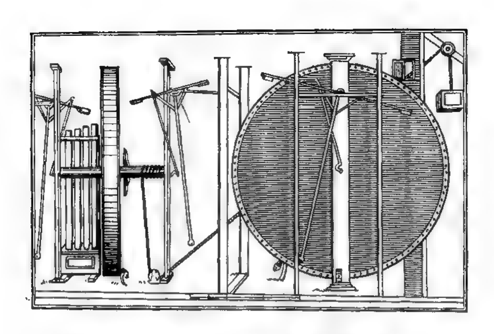
وقد وافق المخترع ، الذى اشتهر فى كافة انحاء المانيا « بدولابه الذاتى الحركة » على بيع آلته للقيصر ، مقابل مبلغ طائل من المال . وكان القيصر قد ارسل الى الغرب عالما يدعى شوماخير ، لجمع الاشياء النادرة ، وطلب منه التفاوض مع الدكتور اورفيريوس حول شراء الآلة . ولما عاد الى روسيا قدم تقريرا الى القيصر ، عن نتيجة مفاوضاته مع اورفيريوس ، جاء فيه : « لقد كانت العبارة الاخيرة التى تفوه بها المخترع هى : اذا دفعتم ما يعادل ١٠٠ الف روبل ، فسوف تحصلون على الآلة » .

اما الآلة نفسها ، فقد قال عنها المخترع ، كما ذكر شوماخير : « انها مضبوطة ، وليس فى استطاعة احد ان يذمّها ، الا اذا كان سيئ الخلق ، والدنيا مليئة بالاشرار الذين لا يمكن تصديقهم باى حال من الاحوال » .

وقد تهيأ القيصر بطرس الاول ، فى يناير (كانون الثانى) عام ١٧٢٥ ، للسفر الى المانيا ليطلع بنفسه على « المحرك الدائم الحركة » الذى كثر الحديث عنه ، ولكن موت القيصر منعه من تحقيق رغبته .

من كان ذلك الشخص الغامض ، الدكتور اورفيريوس ، وكيف كان شكل « آلته المشهورة » ؟ لقد تمكنت من الحصول على معلومات عن المخترع وآلته .

كان اللقب الحقيقى لاورفيريوس هو بيسلير ، وقد ولد فى المانيا عام ١٦٨٠ . وانكبّ على دراسة اللاهوت والطب والرسم ، واخيرا كرس جهوده لاختراع المحرك



شكل ٤٩ : دولاب اورفيريوس الذاتى الحركة ، الذى اراد القيصر الروسى بطرس الاول ان يحصل عليه (الصورة مأخوذة عن رسم قديم) .

«الدائم الحركة» . وقد كان اورفيريوس اشهر مخترع من بين اولئك المخترعين ، الذين وصل عددهم الى عدة آلاف ، وربما كان اكثرهم حظا . لقد عاش حتى نهاية عمره (توفى عام ١٧٤٥) ، حياة مرفهة من الريع الذى كان يحصل عليه كلما عرض آلته على الجماهير .

ان الرسم المبين فى الشكل ٤٩ ، المأخوذ من كتاب قديم جدا ، يوضح الشكل الذى كانت عليه آلة اورفيريوس فى عام ١٧١٤ . ويظهر فى الرسم دولاب كبير ، يبدو وكأنه يقوم بالاضافة الى الدوران الذاتى ، برفع حمل ثقيل الى ارتفاع كبير .

ان شهرة هذا الاختراع المدهش ، الذى عرضه الدكتور العالم بادئ الامر فى الاسواق الدورية ، انتشرت فى المانيا ، وسرعان ما ظهر لاورفيريوس انصار اقوياء جدا .

فقد اظهر ملك بولونيا اهتمامه به ، وكذلك فعل النبيل الالماني هيسن ـ كاسيلسكي ، الذي وضع قصره تحت تصرف المخترع واخضع الآلة لمختلف التجارب .

وفي ١٢ نوفمبر (تشرين الثاني) عام ١٧١٧ ، ادير المحرك بعد ان وضع في غرفة منعزلة ، واقفلت الغرفة من الخارج وختمت ، ثم عهد بحراستها الى جنديين يقظين من الفرقة الخاصة . ومضت مدة اربعة عشر يوما ، ولم يسمح لا حد مطلقا ، بالاقتراب من الغرفة التي كان المحرك يدور في داخلها . وفي ٢٦ نوفمبر ، نزع الختم عن الغرفة ، ودخلها النبيل بصحبة حاشيته ، فوجدوا ان الدولاب لا يزال على دورانه « بنفس السرعة السابقة » . فاوقفوا الآلة وفحصوها فحصا دقيقا ، وبعد ذلك اداروها مرة ثانية . ثم اقفلت الغرفة مرة اخرى وختمت ، ووضعت تحت حراسة مشددة لمدة اربعين يوما . وعندما فتحت من جديد في ٤ يناير (كانون الثاني) ١٧١٨ ، من قبل لجنة من الخبراء ، كان الدولاب مستمرا في دورانه .

ولكن النبيل مع هذا لم يكن مرتاحا لذلك ، وامر باعادة التجربة للمرة الثالثة ، وذلك بوضع المحرك في داخل الغرفة واختباره لمدة شهرين كاملين . ومع ذلك ، فبعد مرور تلك المدة ، وجد ان المحرك لا يزال على حركته .

واستلم المخترع من النبيل المعجب ، شهادة تثبت ان « المحرك الدائم الحركة » الذي اخترعه ، يقوم بـ ٥٠ دورة / دقيقة ، ويمكنه رفع ١٦ كجم الى ارتفاع قدره ٥ر١ م ، ويستطيع كذلك تشغيل منفاخ الحداد وآلة الشحذ . وقد تجول اورفيريوس في اوروبا ، حاملا الشهادة في حقيبته .

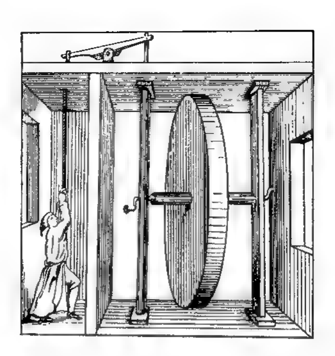
ومن المرجح انه حصل على دخل لا يستهان به ، وذلك لانه رفض ان يبيع آلته الى القيصر بطرس الاول باقل من ١٠٠ الف روبل . وقد انتشر خبر هذا الاختراع المدهش للدكتور اورفيريوس في اوروبا بسرعة ، وتوغل بعيدا خارج حدود المانيا ، حتى وصل الى بطرس الاول ، وهو الرجل الذي كان شديد الحرص على اقتناء كافة الاشياء النادرة والطريفة .

لقد اهتم بطرس الاول بدولاب اورفيريوس منذ عام ١٧١٥ ، اثناء وجوده خارج روسيا ، وقد عهد آنذاك الى الدبلوماسي الشهير اوسترمان ، بالتحري عن ذلك الاختراع تحريا دقيقا . وقام اوسترمان في الحال بارسال تقرير مفصل عن المحرك ، بالرغم من انه لم يتمكن من مشاهدة الآلة بالذات . حتى ان بطرس الاول اراد ان يدعو اورفيريوس للعمل في عهدته ، باعتباره مخترعا موهوبا ، وطلب من الفيلسوف المشهور في ذلك الوقت خريستيان فولف (معلم لومونوسوف) ان يبدي رأيه في اورفيريوس .

وتلقى المخترع اقتراحات مرضية من مختلف الجهات . وقد انهال عليه الملوك والامراء بالمنح والمكافآت ، والف الشعراء قصائد واناشيد يصفون فيها آلة المخترع ويفتخرون بها . ولكن وجد بعض المعادين ، الذين اعتبروا اورفيريوس دجّالا . وقد ظهر منهم من تجرأ على اتهام اورفيريوس بالدجل والشعوذة علنا ، وعرض جائزة قدرها ١٠٠٠ مارك لمن يستطيع فضح اورفيريوس . ويبيّن الشكل ٥٠ ، احد الرسوم التي نشرت للتعريض باورفيريوس وفضحه . ان سر « المحرك الدائم الحركة » كما ظنّ صاحب الرسم المبيّن اعلاه ، يكمن ببساطة ، في وجود شخص مختف بحذاقة ، يسحب حبلا ملفوفا حول ذلك الجزء من محور الدولاب ، الذي اخفي في داخل الاعمدة الساندة .

وقد افتضح الدجل الحاذق صدفة ، لسبب واحد فقط ، هو ان الدكتور اورفيريوس تخاصم مع كل من زوجته وخادمته ، اللتان كانتا قد اطلعتا على سرّه . ولولا ذلك ، لكان من المحتمل ان نبقى حتى الآن في حيرة من ذلك « المحرك الدائم الحركة » الذي كثرت حوله الاقاويل .

لقد ظهر ان « المحرك الدائم الحركة » كان بالفعل يدار من قبل اناس مختفين ، يسحبون حبلا رفيعا متصلا بالآلة . وقد ظهر ان الذي كان يفعل ذلك ، هما اخ المخترع وخادمته . ولم يستسلم المخترع المفضوح ، ولكنه أكد بعناد حتى نهاية حياته ، ان زوجته وخادمته كانتا تحقدان عليه . ولكنه فقد ثقة الناس به . ولم يكن عبثا قوله لشوماخير مبعوث القيصر : « ان الدنيا مليئة بالاشرار ، الذين لا يمكن تصديقهم باي حال من الاحوال ».



شكل ٥٥ : فضح سر دولاب اورفيريوس (الصورة مأخوذة عن رسم قديم)

وفي عهد بطرس الاول ، اشتهر في المانيا محرك آخر « دائم الحركة » ، ابتكره شخص يدعى جيرتنير . وقد كتب شوماخير يصف تلك الآلة ، قائلا : « ان المحرك الدائم الحركة ، الذي ابتكره السيد جيرتنير ، والذي شاهدته في مدينة درسدن ، يتألف من جنفاص مملوء بالرمل ، ومن آلة تشبه الجلاّخة ، تتحرك الى الوراء والى الامام حركة ذاتية ، ويقول مخترع الآلة ، انه لا يمكن جعلها اكبر من ذلك » . ولا شك في ان هذا المحرك ايضا ، لم يتوصل الى هدفه ، وكان في احسن الاحوال ، عبارة عن آلة مبتكرة ، بمحرك حتّى مخفي بمهارة ، لا يمكن ان نسميه « دائم » مطلقا . وقد كان شوماخير محقّا تماما ، عندما كتب الى القيصر بطرس يخبره بان العلماء الانكليز والفرنسيين يعتقدون بان فكرة « المحرك الدائم الحركة» تتعارض مع مبادئ علم الرياضيات .

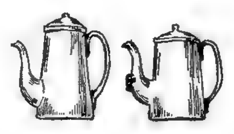
الفصل الخامس | **خواص السوائل والغازات**

مسألة حول ابريقى قهوة

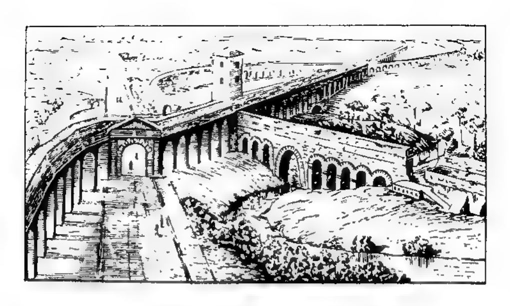
امامنا ابريقان للقهوة (شكل ٥١) متساويان فى العرض ، احدهما طويل والآخر قصير . والآن لنسأل : اى الابريقين اكثر استيعابا من الآخر ؟

من المحتمل ان يقول الكثير من الناس ، دونما تفكير ، بان الابريق الطويل هو الاكثر استيعابا . ولكننا لو اردنا ملء الابريق الطويل بسائل ما ، فانه سيمتلئ الى مستوى فتحة بلبلته . اما الباقى فسيندلق من الفتحة . ولما كانت فتحتا البلبلتين واقعتين على مستوى واحد فى كلا الابريقين ، فان الابريق القصير سيستوعب نفس المقدار الذى يستوعبه الابريق الطويل ، ذى البلبلة القصيرة .

والامر واضح : ان السائل الموجود فى الابريق وفى البلبلة ، يجب ان يستقر على مستوى واحد كما هى الحال بالنسبة لكافة الاوانى المستطرقة ، على الرغم من ان السائل الموجود فى البلبلة اقل وزنا بكثير من السائل الموجود فى الجزء الباقى من الابريق . اما



شكل ٥١ : اى الابريقين يتسع لكمية اكبر من السائل ؟



شكل ٥٢ : محارى المياه فى روما القديمة ، كما تبدو فى شكلها الاول .

اذا لم تكن البلبلة طويلة الى حد كاف ، فلن يمتلئ الابريق حتى نهايته ابدا ، لان الماء سيندلق . وتكون البلبلة فى العادة ، اطول حتى من حافات الابريق العليا ، بحيث يمكن امالة الابريق قليلا ، دون ان يندلق السائل ،

ما الذى كان يجهله القدماء

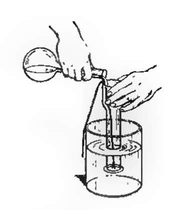
لا يزال سكان مدينة روما الحديثة ، حتى يومنا هذا ، يستخدمون بقايا محارى المياه ، التى مدّها اسلافهم فى قديم الزمان . اذ قام عبيد روما بهذا العمل على احسن ما يرام ؟

الا ان هذا لا يعنى ان المهندسين الرومان ، الذين اشرفوا على تلك الاعمال قاموا بتنفيذها على اسس علمية ، فمن الواضح انهم لم يكونوا على معرفة تامة بمبادئ الفيزياء .

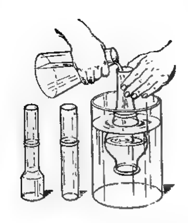
لننظر الى الرسم المبيّن في الشكل ٥٢ ، المأخوذ عن لوحة محفوظة في « المتحف الالماني» بمدينة ميونيخ . ويتضح من الرسم ، ان مجاري المياه في روما ، لم تمد تحت الارض بل فوقها ، على اعمدة حجرية . فماذا كان الغرض من ذلك ؟ الم يكن من الاسهل مد المواسير تحت الارض ، كما يحدث الآن ؟ بالطبع اسهل ، ولكن لم تكن لمهندسين الرومان في ذلك الوقت . فكرة واضحة عن قوانين الاواني المستطرقة . وقد خافوا الا يرتفع الماء في الخزانين الموصولين بماسورة طويلة جدا ، الى نفس المستوى . فاذا مدت المواسير تحت الارض ، بميلانات تطابق ميلانات التربة ، فلا بد للماء في بعض تلك الاقسام ، من ان يجرى الى فوق — وهنا خاف الرومان الا يجرى الماء الى فوق . ولهذا السبب . فقد اعتادوا على مد مواسير المياه ، بميلان منتظم الى الاسفل على امتداد طريقها كلّه (ولهذا الغرض ، كثيرا ما اضطروا اما الى تسيير الماء على طريق غير مباشر ، او الى اقامة دعامات مقنطرة) . ويبلغ طول احدى المواسير الرومانية ، التي تسمى بـ « اكفا مارسيا » ، حوالى ١٠٠ كم ، بينما تبلغ المسافة المستقيمة بين طرفي الماسورة . حوالى ٥٠ كم فقط . وهكذا ، فقد اضطر الرومان الى مد طريق مبنى بالحجر طوله ٥٠ كم ، وذلك بسبب جهلهم لقانون فيزيائي بسيط .

السوائل تضغط الى الاعلى

حتى اولئك الذين لم يدرسوا علم الفيزياء ، يعرفون ان السوائل تضغط الى الاسفل على قعر الاناء ، وتضغط جانبيا على جدرانه . اما انها تضغط الى الاعلى ، فهو امر لا يشك فيه كثير من الناس . ويمكن التأكد من ذلك باستخدام زجاجة مصباح عادية او انبوبة عريضة . لنحضّر قرصا من الورق المقوى السميك ، بحيث يكفي لتغطية فتحة زجاجة المصباح . نضع القرص على حافات الزجاجة ، ثم نغمر الاخيرة في اناء فيه ماء ، بالطريقة المبينة في الشكل ٥٣ . ولكي لا يسقط القرص عند غمره في الماء ، يمكن تثبيته بخيط مشدود يمر بمركزه ، او اسناده بالاصبع فقط . وعند تغطيس



شكل ٥٣ : تجربة بسيطة تثبت لنا بأن السائل يضغط من الاسفل الى الاعلى .



شكل ٥٤ : ان ضغط السائل على قعر الاناء ، يعتمد على مساحة القاعدة وعلى ارتفاع السائل فقط . ويبين الشكل طريقة اثبات هذا القانون .

الزجاجة الى عمق معيّن ، نرى ان القرص قد اصبح بالذات جيد الالتصاق بالزجاجة ، دون ان نشده من الخيط او نسنده بالاصبع ، وذلك لانه اصبح مسندا بضغط الماء المؤثر عليه من الاسفل الى الاعلى .

ومن الممكن قياس مقدار هذا الضغط نحو الاعلى : نصب الماء فى الزجاجة بحذر ، وحالما يصل ارتفاع هذا الماء ، الى مستوى الماء الموجود فى الاناء ، نرى ان القرص ينفصل عن الزجاجة . وهذا يعنى ان ضغط الماء على القرص من الاسفل الى الاعلى ، قد تعادل مع ضغط عمود الماء الموجود فوق القرص ، الذى يكون ارتفاعه مساويا للعمق الذى يوجد عليه القرص تحت سطح الماء . وهذا هو قانون ضغط السائل على كل جسم مغمور فيه . وبالمناسبة ، يحصل هنا « فقدان » الوزن داخل السوائل ، وهو الفقدان الذى نّص عليه قانون ارخميدس المشهور .

ويمكننا بواسطة عدد من زجاجات المصباح ، المختلفة الشكل والمتساوية الفتحات ، ان نختبر قانونا آخر ، يتعلق بالسوائل وهو : ان ضغط السائل على قعر

الاناء الموجود فيه ، يعتمد فقط على كل من مساحة قاعدة الاناء وارتفاع مستوى السائل الذى فيه . وسوف يتلخص الاختبار فيما يلى : نأخذ عدة زجاجات مختلفة ، ونغطسها فى الماء الى عمق متساو (ولاجل ذلك يجب القيام سلفا بلصق شرائط ورقية على الزجاجات ، بحيث تكون متساوية الارتفاع) . سنلاحظ عندئذ ، ان القرص سينفصل فى كل مرة يصل فيها الماء الذى فى داخل الزجاجات ، الى نفس الارتفاع الواحد (شكل ٥٤) . وهذا يعنى ان ضغط اعمدة الماء المختلفة الاشكال ، يتساوى ، اذا تساوت مساحات قواعدها وتساوت ارتفاعاتها . ويجب الانتباه الى ان المهم هنا ، هو الارتفاع وليس الطول ، لان العمود الطويل المائل ، يضغط على القاعدة ، تماما مثلما يضغط عليها العمود الرأسى القصير ، الذى يساويه فى الارتفاع (عند تساوى مساحتى قاعدتيهما) .

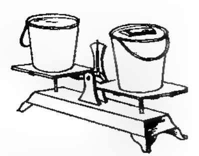
ايهما الاثقل

لنضع دلوا مملوءا الى حافته بالماء ، على احدى كفتى ميزان ، وعلى الكفة الثانية ، دلوا مماثلا ، مملوءا بالماء الى حافته ايضا ، وفيه قطعة من الخشب طافية (شكل ٥٥) . ايهما اثقل من الآخر يا ترى ؟

لقد حاولت طرح هذا السؤال على مختلف الناس ، وقد كانت اجاباتهم متنوعة . اجاب بعضهم ، بأن الدلو الذى تطفو فيه قطعة الخشب هو الاثقل ، لان وزن قطعة الخشب يضاف الى وزن الماء الموجود فى الدلو . واجاب الآخرون على النقيض ، واكدوا ان الدلو الاول هو الاثقل ، لان الماء اثقل من الخشب .

ولكن كلتا الاجابتين غير صحيحتين لان الدلوين متساويان فى الوزن . وفى الحقيقة ، فان الماء فى الدلو الثانى ، اقل مما فى الدلو الاول . ذلك لان قطعة الخشب الطافية ، تزيح قليلا منه . ولكن ، حسب قانون الاجسام الطافية ، عندما يطفو جسم فى سائل ، يكون وزن الجسم الطافى مساويا لوزن السائل الذى ازاحه القسم المغمور من الجسم . ولهذا السبب بالذات ، يجب ان تتوازن كفتا الميزان .

والآن ، لنحل مسألة اخرى : اذا وضعنا قدحا من الماء على احدى كفتي ميزان ووضعنا الى جانبه سنجة ، ثم وازنّا الميزان ، واسقطنا السنجة الموضوعة الى جانب القدح ، في داخله ، فماذا يحدث للميزان ؟



شكل ٥٥ : ان الدلوين هنا مليئان بالماء حتى نهايتيهما، وتطفو على سطح الماء في الدلو الاول قطعة من الخشب . اى الدلوين اثقل من الآخر ؟

تبعا لقانون ارخميدس ، تصبح السنجة في داخل الماء، اقل وزنا مما كانت عليه خارجه. ربما بدا لنا ، انه من الممكن ان ترتفع الكفة التي وضع عليها القدح . غير ان الواقع يبيّن انّ الميزان يحافظ على توازنه . فما هو تفسير ذلك ؟

ان السنجة التي في القدح ، ازاحت قسما من الماء ، وبذلك ارتفع الماء الى مستوى اعلى من مستواه الابتدائي ، ونتيجة لذلك يزداد الضغط على قعر القدح ، وذلك لان القعر يتعرض لقوة اضافية ، مساوية لما فقدته السنجة من وزنها .

الشكل الحقيقي للسائل

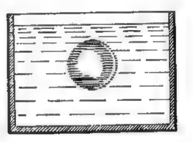
. لقد اعتدنا على التفكير بانه ليس للسائل شكلا خاصا ، وهذا غير صحيح . ان الشكل الحقيقي لكافة السوائل – هو الشكل الكروى . وعادة ، فان قوة الجاذبية تحول دون اتخاذ السائل ذلك الشكل . لذا ، فان السائل اما ان يجرى على هيئة طبقة رقيقة اذا سكبناه من الاناء، او ان يأخذ شكل الاناء الذى يصب فيه . وعندما يمزج السائل مع سائل آخر له نفس الوزن النوعي ، فانه طبقا لقانون ارخميدس « يفقد » وزنه، ويصبح عديم الوزن تماما ، ولا تؤثر عليه قوة الجاذبية . عندئذ يأخذ السائل شكله الكروى الطبيعي .

ان زيت الزيتون يطفو على سطح الماء ، ولكنه يرسب في الكحول . ولذلك يمكن اعداد مزيج من الماء والكحول ، بحيث لا يمكن لزيت الزيتون ان يطفو او يرسب في

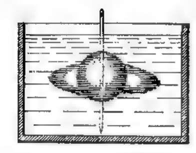
هذا المزيج . وعندما نلقي في هذا المزيج قليلا من الزيت بواسطة محقنة (قطّارة) ، نلاحظ ظاهرة غريبة : يتجمع الزيت في قطرة دائرية كبيرة ، لا تطفو ولا ترسب ، بل تبقى معلقة بلا حراك * (شكل ٥٦) .

ويجب اجراء التجربة بأناة وحذر ، والا فلن تتكون لدينا قطرة كبيرة واحدة ، بل عدة قطرات كروية صغيرة . ولكن حتى في مثل هذه الحالة . فان التجربة تكون ممتعة ايضا .

ولكن هذا ليس كل شيء بعد . لنأخذ عصا طويلة او سلكا حديديا . ونجعله يخترق قطرة الزيت السائل من مركزها ، ثم نبدأ بتدويره ، فنرى ان قطرة الزيت تشترك



شكل ٥٦ : إن الزيت الموجود في داخل اناء فيه كحول مخفف ، يتجمع على هيئة قطرة كبيرة ، لا تغطس في الكحول ولا تطفو على سطحه (تجربة بلاتو) .



شكل ٥٧ : اذا دورنا قطرة الدهن الموجودة في الكحول المخفف تدويرا سريعا بواسطة سلك مغرور فيها ، فسوف تتكون حلقة منفصلة عن تلك القطرة .

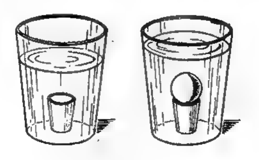
في الدوران . ويمكن الحصول على نتيجة افضل ، اذا ادخلنا في السلك قرصا صغيرا من الورق المقوى بعد تبليله بالزيت ، وحشرناه برمته في القطرة . في بداية الامر تتفلطح القطرة تحت تأثير الدوران ، وبعد عدة ثوان تكوّن حلقة منفصلة عنها (شكل ٥٧) .

* لكي نحصل على شكل كروي صحيح ، يجب اجراء التجربة في اناء مسطح الجدران (او في اناء ... كان ، على ان يوضع داخل اناء مسطح الجدران ومملوء بالماء) .

وعندما تتقطع الحلقة الى عدة اقسام ، يكون كل منها قطرة جديدة ، وتستمر كافة القطرات بالدوران حول القطرة المركزية .

ان اول من اجرى هذه التجربة التعليمية ، هو الفيزيائي البلجيكي بلاتو . وقد قدمنا وصفا لتجربة بلاتو بشكلها التقليدي . ويمكن اجراء هذه التجربة بطريقة اسهل بكثير ، مع الحفاظ على هدفها التعليمي . لنأخذ قدحا صغيرا ونغسله بالماء ثم نملأه بزيت الزيتون ، ونضعه في قعر قدح كبير ، ونصب في القدح الكبير كمية من الكحول بحذر ، بحيث ينغمر القدح الصغير تماما . ثم نضيف الى القدح الكبير تدريجيا وبحذر ، قليلا من الماء بواسطة ملعقة صغيرة عن طريق جداره . نلاحظ ان سطح الزيت الموجود في القدح الصغير ، قد اصبح محدبا ، ويزداد التحدب تدريجيا : وعندما تصل كمية الماء المضاف الى حد كاف ، يتحول السطح المحدب الى قطرة كروية كبيرة ، تبقى معلقة داخل المزيج المكون من الكحول والماء (شكل ٥٨) .

ولصعوبة الحصول على الكحول ، يمكن الاستعاضة عنه في هذه التجربة بالانيلين ـ وهو سائل يكون في درجات الحرارة العادية اثقل من الماء ، اما اذا وصلت درجة الحرارة الى حد يتراوح بين ٧٥ ـ ٨٥° مئوية ، فيصبح اخف من الماء . وبتسخين الماء ،



شكل ٥٨ : تجربة بلاتو بصورة مبسطة .

نستطيع ان نجعل الانيلين يسبح فى داخل الماء ، ويكون على هيئة قطرة كروية كبيرة . وعند درجة حرارة الغرفة ، يتعلق الانيلين فى محلول ملح الطعام * .

وفى عام ١٩٦٣ اثناء التحليق المشترك لسفينتى الفضاء السوفييتيين « فوستوك — ٣ » و« فوستوك — ٤ » قام رجلا الفضاء نيكولاييف وبوبوفيتش بسلسلة من التجارب لاختبار سلوك السوائل فى ظروف انعدام الوزن . وقد كانت بعض النتائج غير متوقعة . مثلا ، ان السائل الموجود فى الدورق الزجاجى المدور ، لم يتجمع فى المركز على هيئة كرة ، كما كان من المتوقع ، بل حجب جدران الدورق ، تاركا فقاعة هوائية فى المركز بالذات . واذا أخذنا فى الاعتبار ، ان مساحة سطح القسم الخاص بالماء والهواء ، تكون عندئذ اقل ما يمكن ، يصبح تفسير سلوك السائل سهلا .

لماذا تكون الخردقة كروية

لقد ذكرنا الآن ، ان كل سائل غير معرض لقوة الجاذبية الارضية ، يأخذ شكله الحقيقى ، وهو الشكل الكروى . فاذا تذكرنا ما قيل سابقا عن انعدام وزن الجسم الساقط ، وأخذنا فى الاعتبار انه فى لحظة ابتداء السقوط ، يمكننا اهمال مقاومة الهواء الضئيلة ** ، فيجب ان تأخذ الاجزاء الساقطة من السائل ، شكلا كرويا ايضا . وفى الواقع ، فان لقطرات المطر الساقطة ، شكلا كرويا . وما الخردق . سوى قطرات متجمدة من الرصاص المصهور ، يتساقط عند انتاجه فى المصنع . من ارتفاع كبير على هيئة قطرات ، فى ماء بارد ، حيث تتجمد تلك القطرات على هيئة كريات منتظمة تماما .

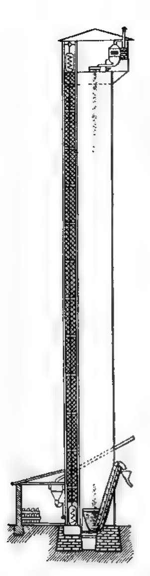
وتسمى مثل هذه الخردقة ، بخردقة « البرج » ، لانها تنتج باسقاطها من قمة

---

* ويعتبر الاورثوتولويدين من السوائل الملائمة لهذا الغرض ، وهو سائل غامق الحمرة ، تكون كثافته عند درجة ٢٤° ، مساوية لكثافة الماء المالح ، الذى يضاف اليه الاورثوتولويدين .

** ان قطرات المطر تسقط بتسارع فى لحظة ابتداء السقوط فقط . اما فى النصف الثانى من الثانية الاولى ، مثلا ، فيتحول السقوط الى حركة منتظمة : يتعادل وزن القطرة مع مقاومة الهواء ، التى تزداد بزيادة سرعة القطرة .

« برج صب » مرتفع (شكل ٥٩) . وتكون ابراج الصب هذه ، عبارة عن منشآت معدنية يصل ارتفاعها الى ٤٥ م : توضع في اعلى قسم منها غرفة للصب ، تحتوى على مراجل للصهر ، ويوجد عند قاعدة كل برج صهريج للماء . وبعد ذلك تتم عمليات تصنيف وتشذيب الخردق . ان قطرة الرصاص المصهور ، تتجمد اثناء سقوطها متحولة الى خردقة وهي في الهواء . اما صهريج الماء فيلزم فقط ، لتخفيف صدمة الخردقة عند وصولها الى الارض ، وللحيلولة دون تشوه شكلها الكروى (ان الخردقة التي يزيد قطرها على ٦ مم ، والمسماة بـ « الحفة » ، نصنع بطريقة مختلفة . وذلك من قطع سلكية صغيرة ، تدلفن فيما بعد الى كريات) .


شكل ٥٩ . برج مصنع الخردق (قطع الرصاص).

كأس بلا قعر

خذ كأسا واملأها بالماء حتى حافتها ، وضع بقربها بعض الدبابيس ، ثم تناول دبوسين وحاول ان تجد لهما متسعا في داخل الكأس . هل تعتقد ان بامكانك ان تفعل ذلك ؟

ابدأ بالقاء الدبابيس في الكأس واحفظ عددها في نفس الوقت ، على ان يتم ذلك بعناية تامة كما يلي : اغمر رأس الدبوس في الماء بحذر ، ثم اترك الدبوس من يدك بكل هدوء ، وبلا دفع او ضغط ، لئلا يؤدي الاهتزاز الى انسياب الماء . وبعد القاء عدد من الدبابيس واستقرارها في قعر الكأس ، سترى ان مستوى الماء لم يتغير .

داوم على القاء الدبابيس الى ان يصل العدد الى اكثر من مائة ... وسترى مع ذلك ، ان الماء لم يبدأ بعد بالانسياب من الكأس (شكل ٦٠) .

ولم يكتف الماء بعدم الانسياب فحسب ، بل انه لم يرتفع عن مستواه بای قدر ملحوظ . استمر فى القاء عدد آخر من الدبابيس ، حتى يصل العدد الى اربعمائة ... وسترى رغم ذلك عدم انسياب اية قطرة من الماء عبر حافة الكأس ، بل سترى الآن بوضوح ، ان سطح الماء قد انتفخ (تحدب) وارتفع قليلا عن حافات الكأس . وفى هذا الانتفاخ (التحدب) يكمن سر هذه الظاهرة المبهمة . ان الماء يبلل الزجاج قليلا ، طالما كان الزجاج مدهونا بعض الشيء ، وحافة الكأس – ومثلها مثل كافة الاوانى



شكل
التجربة المدهشة لالقاء الدبابيس فى كأس الماء

الزجاجية التى نستخدمها – لابد وان تتلوث بآثار دهنية ، ناتجة عن ملامسة الاصابع لها . ولما كان الماء لا يبلل الحافة ، فان الدبابيس تزيحه من الكأس ، فيشكل سطحا محدبا . ويكون التحدب غير واضح للعين ، ولكن اذا حسبنا حجم الدبوس الواحد ، وقارناه بحجم التحدب الذى ظهر فوق حافة الكأس ، لاقتنعنا بان الحجم الاول اقل من الحجم الثانى بمئات المرات . وهذا هو السبب الذى يجعل الكأس المملوءة ، تتسع لعدة مئات اخرى من الدبابيس . وكلما كانت فوهة الكأس اوسع ، كلما اتسعت لعدد اكبر من الدبابيس ، وذلك لان التحدب سيكون اكبر . ولايضاح المسألة ، نقوم بحساب تقريبى . يبلغ طول الدبوس حوالى ٢٥ مم ، وسمكه نصف مليمتر . ويمكن ايجاد حجم مثل هذه الاسطوانة ، بسهولة ، وذلك بموجب الصيغة الهندسية المعروفة ($\frac{ع ق^{٢} ط}{٤}$) ، ويساوى ٥ مم^{٣} .

12 Зак. 15662

حيث :
ع ـ طول الدبوس ؛
ق ـ قطر الدبوس ؛
ط ـ النسبة الثابتة (١٤ر٣)
ولا يزيد حجم الدبوس مع الرأس ، على ٥ر٥ مم٣ .
والآن نحسب حجم الطبقة المائية ، المرتفعة فوق حافة الكأس . قطر الكأس يساوى ٩ سم = ٩٠ مم . ومساحة مثل هذه الدائرة ، تساوى حوالى ٦٤٠٠ مم٢ . واذا اعتبرنا ان سمك الطبقة المرتفعة ، يساوى ١ مم فقط ، يكون حجمها مساويا للمقدار ٦٤٠٠ مم٣ ؛ وهذا اكبر من حجم الدبوس بمقدار ١٢٠٠ مرة . وبعبارة اخرى ، فان الكأس « المملوءة » تتسع لاكثر من الف دبوس اضافى ! وفى الحقيقة ، اذا التزمنا الحذر ، يمكن ان نلقى فى الكأس باكثر من الف دبوس ، بحيث تبدو للعين ، وكأنها تشغل الكأس برمتها ، بل وترتفع فوق حافتها ، فى الوقت الذى لا يبدو فيه ان الماء فى طريقه الى الانسياب .

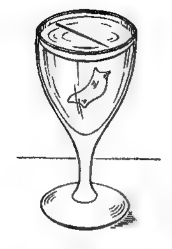
الخاصية الطريفة للكيروسين

ان كل من استخدم مصباح الكاز ، يعلم على الارجح ، بالمفاجآت المزعجة ، المتعلقة باحدى خواص الكيروسين . فاذا ملأنا الخزان بالكيروسين ، وجففناه من الخارج تجفيفا جيدا ، نرى انه بعد مضى ساعة من الوقت ، يصبح مبللا مرة ثانية .
والسبب فى ذلك ، هو اننا لم نحكم سد ترمسة المصباح ، وعند محاولة الكيروسين الانتشار على سطح الزجاجة ، تسرب الى السطح الخارجى للخزان . فاذا اردنا تجنب مثل هذه المفاجآت ، يجب علينا ان نحكم سد ترمسة المصباح على قدر المستطاع . ولكن عند القيام بذلك ، يجب الا يكون الخزان ممتلئا حتى النهاية . اذ ان الكيروسين يتمدد بالتسخين تمددا كبيرا (يزداد حجمه بمقدار ١ر٠ عند ارتفاع درجة الحرارة الى ١٠٠° مئوية) . وكيلا ينفجر الخزان ، يجب ترك حيز فيه للتمدد .

ان خاصية الزحف (التسرب) هذه ، تسبب شعورا بعدم الارتياح ، على ظهر تلك السفن التي تشغّل ماكيناتها بالكيروسين (او النفط) . واذا لم تتخذ الاجراءات اللازمة ، يصبح نقل كافة انواع البضائع على ظهر تلك السفن متعذرا ، ما عدا الكيروسين بالذات . ذلك لان هذه السوائل عندما تزحف (تتسرب) من الخزانات عن طريق ثقوب خفيّة ، فانها لا تنتشر على السطح المعدني للخزانات فحسب . بل وتتوغل في كل مكان ، حتى في ملابس الركاب . وتجعل رائحة الكيروسين التي لا يمكن التخلص منها . تفوح من كافة المواد والبضائع . وقد ذهبت كافة محاولات القضاء على هذا الشر ، ادراج الرياح . ولم يكن الكاتب الانكليزي الساخر جيروم ، مبالغا في قوله ، عندما تحدث عن الكيروسين في روايته المعنونة « ثلاثة في قارب » ، اذ قال :

« لم ار ابدا اية مادة لها تلك القابلية للتسرب كالتي للكيروسين . فقد وضعناه في مقدمة القارب ، فاذا به يتسرب منها الى المؤخرة ، بعد ان اشبع برائحته الخاصة ، كل الاشياء التي مر بها في طريقه . فعندما تسرب خلال الواح التغطية الخشبية ، ووصل الى الماء ، افسد الهواء والجو ، ونغص الحياة . فقد كانت رياح الكيروسين تهب احيانا من الغرب ، واحيانا من الشرق ، وكانت تأتي احيانا اخرى من الشمال ، او ربما أتت من الجنوب . ولكن ، بغض النظر عما اذا كان مصدره هو القطب الجليدي او الصحراء الرملية ، فقد كان يصلنا دائما ، مشبعا برائحة الكيروسين . وقد افسدت علينا هذه الرائحة روعة الغروب . اما اشعة القمر ، فقد كانت تفوح برائحة الكيروسين تماما . وبعد ان ربطنا القارب الى جانب الجسر ، ذهبنا للنزهة في المدينة ، ولكن الرائحة الكريهة كانت تطاردنا ، وبدى لنا ان المدينة كلها قد تشبعت بهذه الرائحة » . ومن الطبيعي ، ان ملابس الرّحالة فقط . هي التي كانت في الواقع مشبعة بتلك الرائحة .

ان قابلية الكيروسين لتبليل السطح الخارجي للخزانات ، جعلت الناس تفكر خطأ ، بان الكيروسين يمكن ان ينفذ الى خلال المعادن والزجاج .





شكل ٦١ : الابرة الطافية على سطح الماء . الصورة اليمنى — المقطع العرضى للابرة (سمك ٢ مم) والشكل الدقيق للاثر الذى تخلفه على سطح الماء ؛ الصورة اليسرى — طريقة لجعل الابرة تطفو على سطح الماء باستخدام قطعة من ورق السكاير .

قطعة نقود لا تغوص فى الماء

ان قطعة النقود التى لا تغوص فى الماء، هى حقيقة واقعة وليست خرافة. ويمكن التأكد من ذلك باجراء بعض التجارب البسيطة . نبدأ بالاجسام الصغيرة ، ولتكن الابرة مثلا . يبدو انه لا يمكن جعل الابرة الفولاذية تطفو على صفحة الماء ، بينما يمكن بسهولة القيام بذلك . نضع على صفحة الماء قصاصة من ورق السجاير ، ونضع فوقها ابرة جافة تماما . وما علينا الآن الا ان نسحب القصاصة من تحت الابرة ، وذلك بالشكل التالى : نأخذ ابرة ثانية او دبوسا ، ونضغط بهما على حافات القصاصة لنجعلها تغوص فى الماء ، ثم ننقل الضغط تدريجيا الى الوسط حتى تغوص القصاصة برمتها فى الماء . اما الابرة ، فستبقى طافية على صفحة الماء (شكل ٦١) . ويمكننا التحكم فى اتجاه الابرة الطافية ، وذلك اذا قربنا من جدران قدح الماء ، قطعة مغناطيس وحركناها بمستوى صفحة الماء .

ونستطيع بشيء من الحذاقة ، الاستغناء هنا عن قصاصة ورق السجاير ، وذلك اذا تناولنا الابرة بين اصابعنا ، واسقطناها على صفحة الماء بصورة افقية ومن ارتفاع قليل جدا .

ويمكن ان نجعل الدبوس يطفو على صفحة الماء ، بدل الابرة (على الا يزيد سمك كل منهما على ٢ مم) ، وكذلك الزر الخفيف والقطع المعدنية الصغيرة المسطحة . وبعد التمرّن على ذلك ، نحاول ان نجعل قطعة النقود تطفو على صفحة الماء .

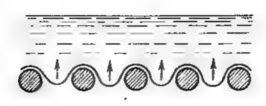
ان سبب طفو هذه القطع المعدنية الصغيرة ، هو ان الماء لا يبلل المعدن جيّدا ، وذلك لانه اصبح مغطى بطبقة دهنية رقيقة جدا ، نتيجة لتداوله فى ايدينا . ولهذا يتكون حول الابرة الطافية على صفحة الماء تجويف ظاهر للعين . وعندما تحاول الطبقة السطحية الرقيقة للماء ، ان تستوى ، تقوم بضغط الابرة الى الاعلى ، وبذلك تعمل على اسنادها . كما تسند الابرة ايضا ، قوة دفع السائل من الاسفل ، وهى حسب قانون الاجسام الطافية ، تساوى وزن السائل الذى تزيحه الابرة . واسهل طريقة لتحقيق طفو الابرة ، هو تزييتها بالزيت . ويمكن وضع مثل هذه الابرة على صفحة الماء مباشرة دون ان تغوص .

نقل الماء فى الغربال

يتضح انه يمكن بالفعل نقل الماء فى الغربال ، ولا تنحصر هذه العملية فى القصص الخيالية فقط .

ومعرفة علم الفيزياء ، تساعدنا على القيام بمثل هذا العمل ، الذى يبدو فى الظاهر مستحيلا . ولاجراء ذلك ، نأخذ غربالا سلكيا بقطر قدره ١٥ سم ، بحيث لا تكون ثقوبه رفيعة جدا (حوالى ١ مم) ، ونغطس شبكته فى البارافين المسال (المائع) . ثم نرفع الشبكة من داخل البارافين ، فنرى انها مغطاة بطبقة رقيقة من البارافين ، لا تكاد ترى بالعين الا بصعوبة .

ان الغربال لم يتغير — فهو يحتوى على فتحات يمكن للدبوس ان يمر خلالها بسهولة — ولكن نستطيع الآن نقل الماء فى الغربال ، بالمعنى الحرفى لهذه العبارة . ويمكن ان يحتوى هذا الغربال ، على كمية كبيرة نسبيا من الماء ، دون ان يسيل من خلال الثقوب ، ويجب عند ذلك صب الماء فى الغربال بحذر تام ، مع المحافظة على عدم رج الشبكة .



شكل ٦٢ : لما لا ينسكب الماء من الغربال المدهون بالبارافين ؟

والآن ، لماذا لا يسيل الماء ؟ لان البارافين الذى لا يتبلل بالماء ، يكوّن فى ثقوب الغربال ، طبقات رقيقة جدا ، محدّبة الى الاسفل ، تعمل على حبس الماء (شكل ٦٢) .

ويمكن جعل مثل هذا الغربال البارافينى يطفو على سطح الماء اى يمكن استخدام الغربال فى العوم على صفحة الماء ، بالاضافة الى استخدامه فى نقل الماء .

وتوضح هذه التجربة غير المألوفة ، عددا من الظواهر العادية ، التى اعتدنا عليها جدا ، بحيث لم نفكر فى سبب حدوثها . ان طلى البراميل والقوارب بالقار ، وتزييت السدادات والجلب بالشحم ، والطلى بالاصباغ الزيتية ، وبصورة عامة ، عندما نغطى كافة الاشياء والحاجيات التى لا نريد ان ينفذ اليها الماء ، بطبقة من المواد الدهنية ، وكذلك عند معالجة (طلى او تشريب) الاقمشة بالمطاط — كل ذلك ، لا يخرج عن كونه عملية اعداد غربال ، شبيه بالذى تحدثنا عنه الآن . ان حقيقة الامر واحدة فى كلتا الحالتين ، ولكنها فى حالة الغربال ، تبدو بصورة غير مألوفة .

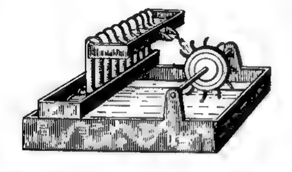
الرغوة فى خدمة التكنيك

ان تجربة تعويم الابرة الفولاذية وقطعة النقود النحاسية على صفحة الماء ، تشبه احدى الظواهر التى تستخدم فى صناعة التعدين ، لغرض « تركيز » الخامات ، اى لزيادة كمية المعدن الاساسى الثمين فيها .

وهناك عدة طرق تكنيكية لتركيز الخامات . اما الطريقة التي نقصدها في حديثنا ، والتي تسمى بطريقة « التعويم » ، فهي احسن الطرق ، حيث انها تستخدم بنجاح حتى في الحالات التي تكون فيها الطرق الاخرى عديمة النفع .

وتتلخص طريقة التعويم هذه فيما يلي : يوضع الخام المسحوق سحقا ناعما ، في حوض فيه ماء ومواد دهنية ، تقوم بتغليف دقائق المعدن الاساسي بطبقات رقيقة لا تتبلل بالماء . ويخلط المزيج بشدة مع الهواء المضغوط ، فيتكون بذلك عدد كبير من الفقاقيع الصغيرة — رغوة . وعند ذلك ، فان دقائق المعدن الاساسي المكسوّة بطبقة دهنية رقيقة ، تتعلق بقشرة الفقاعة الهوائية عند ملامستها لها ، فترفعها الاخيرة الى الاعلى ،

شكل ٦٣ : كيفية حدوث التعويم



شكل ٦٤ : محرك « دائم الحركة » لا يمكن تحقيق عمله

كما يرفع المنطاد الجندول في الجو (شكل ٦٣) . اما دقائق الشوائب المعدنية ، غير المكسوة بطبقة دهنية ، فلا تتعلق بقشرة الفقاعة ، بل تبقى في داخل السائل . ويجب ان نلاحظ ، ان حجم الفقاعة الهوائية للرغوة ، اكبر كثيرا من حجم الدقيقة المعدنية ، ويمكنها ان تطفو بسهولة ، حاملة معها تلك الدقيقة الصلبة من المعدن . وبالنتيجة ، تصبح كافة دقائق المعدن الاساسي ، موجودة في الرغوة التي تغطي السائل . ثم تزال الرغوة عن سطح السائل ، وتجرى عليها عدة معالجات اخرى — للحصول على ما يسمى

« بالخام المركز » ، الذى يحتوى على كمية من المعدن الاساسى ، تزيد بعشر مرات ، عما يحويه الخام الاولى .

ويجرى التعويم بطريقة فنية متقنة جدا ، بحيث يمكن بالاختيار الملائم للسوائل الكاشفة (المزيج) ، فصل اى معدن اساسي عن الشوائب المعدنية ، فى اى مركب كان .

ولم يتم اكتشاف طريقة التعويم ، بناء على احدى النظريات ، بل تم ذلك بالمراقبة الدقيقة لاحدى الحقائق التى وقعت صدفة . ففى نهاية القرن الماضى ، عندما كانت المعلمة الامريكية كارى ايفيرسون تغسل اكياسا ملوثة بالدهن ، بعد استعمالها لحفظ مادة بيريت النحاس ، لاحظت ان دقائق بيريت النحاس تطفو مع رغوة الصابون . وكانت تلك الملاحظة بداية الطريق نحو تطوّر طريقة التعويم .

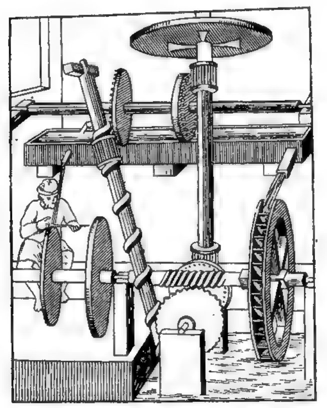
المحرك «الدائم الحركة» المزعوم

نجد فى الكتب احيانا وصفا للجهاز المبيّن فى الشكل ٦٤ ، على اعتبار انه نموذج حقيقى للمحرك « الدائم الحركة » . ويتألف هذا الجهاز من اناء صبّ فيه زيت (او ماء) ، يمتّص الى الاعلى بواسطة فتائل ، فينتقل اولا الى اناء اعلى من الاول . ومنه ينتقل بواسطة فتائل اخرى الى اناء اعلى ، ويحتوى الاناء العلوى على مجرى لسيلان الزيت الذى يسقط على جواريف (ريش توجيه) الدولاب ، فيجعله يدور . ان الزيت الذى يجرى الى الاسفل ، يرتفع ثانية الى الاناء العلوى بواسطة الفتائل . وهكذا ، فان تيار الزيت المتدفق عبر المجرى نحو الدولاب، لا ينقطع ابدا ، ويجب ان يتحرك الدولاب بصورة دائمية .

واذا كلفنا المؤلفين الذين وصفوا هذا الجهاز بمهمة صنعه ، لتأكدوا ، لا من عدم دوران الدولاب فحسب ، بل ومن عدم وصول اية قطرة من السائل الى الاناء العلوى !

ويمكن تصور ذلك ، دون القيام بصنع ذلك الجهاز . حقّا ، لماذا يعتقد المخترع بان الزيت يجب ان يسيل الى الاسفل من الجزء العلوى المنحنى للفتيل ؟ ان التجاذب

الشعرّى تغلّب على الجاذبية الارضية ، ورفع السائل الى الاعلى خلال الفتيل . وهذا التجاذب الشعرى بالذات ، هو الذى يحافظ على بقاء السائل فى مسام الفتيل المبلل ، ويمنعه من التسرب الى الخارج . فاذا فرضنا ان السائل يمكن ان يصل الى الاناء العلوى لتلك الدوامة المزعومة ، وذلك بتأثير قوة التجاذب الشعرى ، فيجب الاعتراف فيما بعد ، بان تلك الفتائل التى يفترض ان توصل السائل الى الاناء العلوى ، سوف تقوم بالذات ، باعادته ثانية الى الاناء السفلى .



شكل ٦٥ : تصميم قديم لمحرك « دائم الحركة » ، يعمل بواسطة تيار الماء ، ويستخدم لتدوير حجر التجليخ .

ويذكّرنا هذا المحرك الدائم الحركة المزعوم ، بماكنة اخرى تعمل بالماء ، ذات «حركة دائمة» اخترعت في عام ١٥٧٥ من قبل الميكانيكي الايطالي سترادو الكبير . وهذه الماكنة المسلية مبينة في الشكل ٦٥ . عند دوران اللولب (الشادوف الارخميدي) يرتفع الماء الى الخزان العلوي ، ومنه يتدفق خلال المجرى على هيئة تيار مائي يسقط على ريش توجيه الدولاب الذي يقوم بملء الخزان (في الاسفل الى اليمين) . ويقوم دولاب الماء بتشغيل آلية التجليخ ، ويدير في نفس الوقت بمساعدة عدد من العجلات المسننة ، اللولب الذي يرفع الماء الى الخزان العلوي . وهكذا ، فان اللولب يدير الدولاب ، والدولاب يدير اللولب! اذا كان في الامكان صنع مثل هذه الآليات ، لكان من الاسهل القيام بذلك كما يلي : نلف حبلا حول بكّارة (مجموعة من البكرات) ، ونربط في طرفي الحبل ثقلين متساويين ، فاذا ما نزل احد الثقلين الى الاسفل ، فانه سيرفع بذلك الثقل الثاني ، وعند نزول الثقل الثاني من ذلك الارتفاع ، سيرفع الثقل الاول . فهل تختلف هذه الآلة بشيء عن «المحرك الدائم الحركة» ؟

فقاقيع الصابون

هل قمت يوما ما بنفخ فقاقيع الصابون ؟ ليس ذلك بالامر السهل كما يبدو . وكان يبدو لي ان ذلك لا يحتاج الى اية مهارة ، حتى اقتنعت بان القيام بنفخ فقاقيع كبيرة وجميلة المنظر ، هو فن خاص يحتاج الى تمرين . ولكن هل هناك فائدة من القيام بعمل تافه ، مثل نفخ فقاقيع الصابون ؟

لقد كوّن الناس فكرة غير حسنة عن هذه الفقاقيع . وعلى الاقل ، فنحن لا نعبر عن رضانا عندما نتذكرها في احاديثنا . ولكن الفيزيائيين ينظرون اليها نظرة مختلفة تماما . فقد كتب العالم الانكليزي العظيم كيلفن يقول : «انفخ فقاعة صابون وراقبها . اذ بمكنك ان تدرسها طوال حياتك ، وتستقي منها على الدوام دروسا في الفيزياء» .

وفي الحقيقة ، فان الوان قوس قزح السحرية ، التي تظهر على الاغشية الرقيقة

لفقاقيع الصابون ، تساعد علماء الفيزياء على قياس طول الموجات الضوئية . اما بحث شد (توتّر) هذه الاغشية الرقيقة ، فيساعد على دراسة قوانين تبادل الفعل بين الدقائق (الجسيمات) — وهي قوى التماسك ، التي لو لا وجودها ، لما وجد في هذا العالم اى شيء ، ما خلا دقائق الغبار .

ان التجارب القليلة الموضحة ادناه ، لا تنطوى على شيء من الاهمية في اغراضها . ان ذلك مجرد لهو ممتع ، يجعلنا نتعرف على فن نفخ فقاقيع الصابون . وقد قدم العالم الانكليزى جارلس بويز في كتابه المعنون « فقاقيع الصابون » ، وصفا مفصلا لعدد كبير من التجارب المختلفة ، المتعلقة بفقاقيع الصابون . فاذا كنت من المهتمين بمثل تلك التجارب ، فعليك الرجوع الى ذلك الكتاب الرائع ، الذى نقتبس منه فيما يلي ابسط التجارب فقط .

ويمكن اجراء هذه التجارب باستخدام صابون الغسيل العادى * ، وننصح الراغبين في ذلك ، باستخدام صابون زيت الزيتون النقى او زيت اللوز النقى ، الذى يعتبر اكثر ملاءمة للحصول على فقاقيع صابون كبيرة وجميلة . نذيب قطعة من هذا الصابون بعناية ، في ماء بارد نظيف ، الى ان يصبح الماء مشبعا برغوة الصابون الكثيفة . ومن الافضل استخدام ماء المطر النقى او ماء الثلج وعند عدم توفر ذلك ، نستخدم الماء المغلى بعد تبريده ، ولكى تبقى الفقاقيع مدّة طويلة من الزمن ، ينصح العالم بلاتو باضافة الجليسرين الى الرغوة بنسبة حجمية قدرها ١:٣ . نزيل الرغوة والفقاقيع الصغيرة عن سطح السائل الرغوى ، بواسطة ملعقة ، ثم نغط في الرغوة انبوبة رفيعة من الفخار ، بعد ان ندهن طرفها بالصابون ، من الداخل والخارج . ويمكن الحصول على نتائج حسنة باستخدام انابيب من القش طولها ١٠ سم ، ونهاياتها مشطورة على هيئة صليب .

وتنفخ الفقاعة كما يلي : نغط طرف الانبوبة في الرغوة ، بحيث تكون الانبوبة في وضع عمودى ، لكى يتكون على طرفها غشاء من السائل ، ثم ننفخ فيها بهدوء .

---

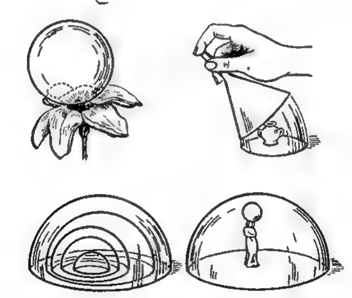
* ان الصابون المعطر يكون اقل نفعا في هذه الحالة .

ولما كانت الفقاعة عند ذلك ، قد امتلأت بهواء الرئتين الدافئ ، الذى هو اخف من هواء الغرفة ، فان الفقاعة المنفوخة ترتفع حالا الى الاعلى .

واذا استطعنا فى الحال نفخ فقاعة قطرها ١٠ سم ، تكون الرغوة صالحة ، واذا لم نستطع ذلك ، تضيف الى السائل كمية اخرى من الصابون ، الى ان نتمكن من نفخ فقاقيع بالحجم المذكور سابقا . ولكن هذه التجربة ليست كافية . بعد نفخ الفقاعة ، نغمس اصبعنا فى السائل الرغوى ونحاول ان نخرق الفقاعة بهذا الاصبع . فاذا لم تنفجر ، يمكننا ان نبدأ بالتجارب . اما اذا انفجرت الفقاعة ، فيجب عندئذ اضافة قليل من الصابون .

ويجب اجراء التجربة ببطء وحذر وهدوء . كما يجب ان تكون الاضاءة جيدة قدر الامكان ، والا فلن تظهر على الفقاعة تلك الالوان القوس قزحية .

واليكم بعض التجارب المسلية ، المتعلقة بالفقاقيع .



شكل ٦٦ : تجارب بفقاقيع الصابون : فقاعة صابون على زهرة ؛ فقاعة صابون حول مزهرية ؛ عدد من الفقاقيع المتداخلة مع بعضها ؛ فقاعة على رأس تمثال صغير موجود فى داخل فقاعة اخرى .

فقاعة صابون حول زهرة . نصب سائلا رغويا (رغوة صابون) فى طبق ، بحيث يصبح قعر الطبق مغطى بطبقة رغوية يتراوح سمكها بين ٢ — ٣ مم ، ونضع فى الوسط زهرة او مزهرية صغيرة ، ثم نغطى الطبق بقمع زجاجى . وبعد ذلك نرفع القمع ببطء ، وننفخ فى انبوبته الضيقة ، فتتكون فقاعة صابون ، وعندما يصل حجمها الى حد كاف ، نميل القمع بالطريقة الموضحة فى الشكل ٦٦ ، فتتحرر الفقاعة من تحته . عندئذ تصبح الزهرة موضوعة تحت طاقية نصف كروية شفافة ، منسوجة من غشاء فقاعة الصابون وملونة بجميع الوان قوس قزح .

ويمكن أخذ تمثال صغير بدلا من الزهرة (شكل ٦٦) . نتوج رأسه بفقاعة صابون وللقيام بذلك لابد اولا من سكب عدة قطرات من السائل الرغوى ، على رأس التمثال ، وبعد ان يتم نفخ الفقاعة الكبيرة ، نخرقها وننفخ فى داخلها فقاعة صغيرة .

عدة فقاقيع متداخلة (شكل ٦٦) . نستخدم القمع المذكور فى التجربة السابقة ، لنفخ فقاعة صابون كبيرة كما فعلنا من قبل . ثم نغمس انبوبة القش فى السائل الرغوى تماما ، بحيث يبقى طرفها الذى نضعه فى فمنا جافا ، وندخله بحذر فى جدار الفقاعة



شكل ٦٧ . كيفية عمل فقاعة صابون اسطوانية الشكل .



شكل ٦٨ : ان جدران الفقاعة تضغط الهواء الموجود فى داخلها وتطرده الى الخارج .

الاولى ، الى المركز ، ثم نسحب الانبوبة الى الوراء ببطء دون ان نوصلها الى الحافة . وننفخ الفقاعة الثانية في داخل الفقاعة الاولى ، وتليها الفقاعة الثالثة والرابعة وهلم جرا .

ويمكن تكوين فقاعة صابون اسطوانية (شكل ٦٧) بين حلقتين سلكيتين . ولهذا الغرض تنفخ على الحلقة السفلى ، فقاعة كروية عادية ، ثم توضع الحلقة الثانية بعد تبليلها فوق هذه الفقاعة . ثم نسحبها الى الاعلى الى ان يصبح شكل الفقاعة اسطوانيا . ومن الجدير بالملاحظة هنا ، اننا اذا رفعنا الحلقة العليا الى ارتفاع اكبر من طول محيط الحلقة ، فان احد نصفي الاسطوانة يصبح ضيقا ، والنصف الآخر واسعا ، ثم ينفصل النصفان عن بعضهما ليكونا فقاعتين مستقلتين .

ويكون غشاء فقاعة الصابون في حالة شد على الدوام ويضغط على الهواء المحصور في داخله ، فاذا وجّهنا فوهة القمع نحو لهب شمعة ما ، لوجدنا ان قوة الغشاء الرقيق ، ليست ضئيلة جدا ، اذ انها تجعل لهيب الشمعة ينحرف جانبا بوضوح (شكل ٦٨) .

ومن الممتع ملاحظة الفقاعة ، عندما تنتقل من وسط دافئ الى آخر بارد ، اذ انها تصبح اصغر حجما من السابق ، وبالعكس ، يزداد حجمها عند انتقالها من وسط بارد الى آخر دافئ . ويكمن السر هنا ، بطبيعة الحال ، في انضغاط وتمدد الهواء المحصور في داخل الفقاعة .

واذا بلغ حجم الفقاعة ، مثلا عند درجة حرارة قدرها – ١٥° مئوية ، ١٠٠٠ سم^{٣} ، وانتقلت الفقاعة من ذلك الوسط البارد الى وسط تبلغ درجة حرارته + ١٥° مئوية ، فان حجمها سيزداد تقريبا بمقدار

$$١٠٠٠ \times ٣٠ \times \frac{١}{٢٧٣} = ١١٠ \text{ سم}^{٣} \text{ تقريبا.}$$

وتجدر الاشارة ايضا ، الى ان التصورات العادية ، حول عدم بقاء فقاقيع الصابون لمدة طويلة ، ليست صحيحة تماما . اذ يمكن بالعناية الملائمة ان نحفظ الفقاعة لمدة عشرة ايام كاملة . وقد قام الفيزيائي الانكليزي ديوار (المشهور بابحاثه الخاصة باسالة

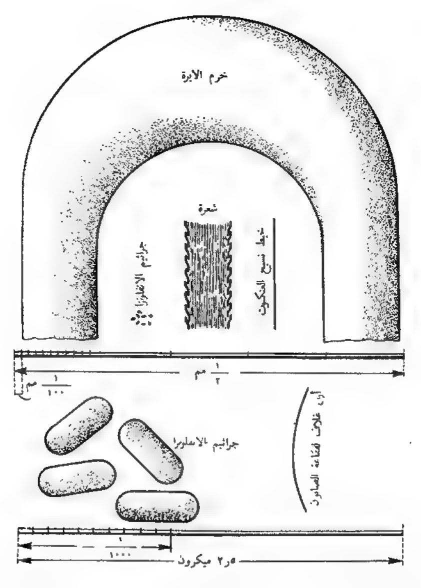
الهواء) بحفظ فقاقيع صابون فى زجاجات خاصة ، بعيدة تماما عن الغبار والجفاف والهزّات الهوائية ، وقد تمكن فى مثل هذه الظروف ، من حفظ بعض الفقاقيع لمدة شهر واكثر . وقد استطاع لورنس الامريكى ، ان يحفظ فقاقيع الصابون تحت طواقى (اجراس) زجاجية ، لعدة سنوات .

ما هو ارق شيء ؟

من المحتمل ان قليلا من الناس ، يعرفون ان غشاء فقاعة الصابون ، يعتبر من احد الاشياء المتناهية فى الرقة ، التى يمكن روءيتها بالعين المجردة . ان الاشياء العادية التى تضرب الامثال فى رقتها ، تكون على درجة كبيرة من الخشونة اذا ما قورنت بغشاء فقاعة الصابون . والاشياء التى يقال عنها « رقيقة مثل الشعرة » او « رقيقة مثل ورق السجاير » ، تكون فى الواقع ثخينة للغاية اذا ما قورنت بسمك غشاء فقاعة الصابون ، الذى يقل سمكه بـ ٥٠٠٠ مرة عن سمك الشعرة او سمك ورق السجاير . وعندما نكبّر حجم الشعرة البشرية بمقدار ٢٠٠ مرة ، يصل سمكها الى ١ سم تقريبا ، بينما لا يصل سمك مقطع غشاء الفقاعة ، عند تكبيره بنفس المقدار ، الى حد يجعلنا نراه بالعين المجردة . ولكى نستطيع روءية مقطع غشاء فقاعة الصابون ، على هيئة خط رفيع ، لا بد من تكبيره بمقدار ٢٠٠ مرة اخرى . اما اذا كبّرنا الشعرة بهذا القدر (٤٠٠٠٠ مرة) ، فسيزيد سمكها على ٢ م . والشكل ٦٩ ، يعطينا صورة واضحة للنسب المذكورة .

الاصابع التى لا تتبلل بالماء

ضع قطعة نقود على طبق مسطح كبير ، ثم صب الماء فى الطبق الى ان يغطى قطعة النقود ، واطلب من ضيوفك ان يلتقطوا قطعة النقود من الماء ، بايديهم العارية ، دون ان يبللوا اصابعهم . ان هذه المسألة التى يبدو ان تحقيقها يستحيل ، يمكن حلها بسهولة ، باستخدام قدح وقطعة ورق ملتهبة . نشعل الورقة ، ونضعها وهى ملتهبة فى داخل



شكل ٦٩ : الرسم العلوى – خرم الابرة ، شعرة واحدة ، الجراثيم (العصيات) و خيط نسيج العنكبوت ، مكبرة ٢٠٠ مرة . الرسم السفلى – العصيات وسمك غلاف فقاعة الصابون ، مكبرة ٤٠٠٠٠ مرة . ١ ميكرون = ٠٫٠٠٠١ سم

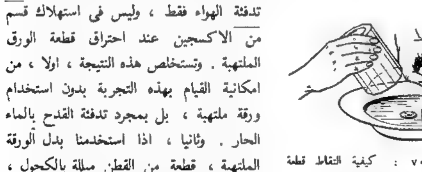
القدح ، ثم نقلب القدح ونضعه بسرعة على الطبق بالقرب من قطعة النقود . وعند ذلك سوف تنطفئ الورقة المشتعلة ويمتلئ القدح بدخان ابيض ، وبعد هذا يتجمع الماء الموجود فى الطبق برمته ، تحت القدح . اما قطعة النقود فتبقى فى مكانها بالطبع ، وتجف بعد دقيقة واحدة ، وعندئذ يمكننا التقاطها دون ان تتبلل اصابعنا .

فما هى القوة التى دفعت الماء الى القدح ، وجعلته يقف عند مستوى معيّن ؟

انها قوة الضغط الجوى . ان الورقة الملتهبة عملت على تدفئة الهواء الموجود داخل القدح ، وبذلك ارتفع ضغطه ، وخرج قسم منه الى الخارج . وعند انطفاء الورقة الملتهبة ، برد الهواء مرة اخرى . عندئذ اصبح ضغطه ضعيفا ، فاندفع الماء الى القدح تحت تأثير الضغط الجوى فى الخارج .

ويمكن بدل الورقة ، استخدام عيدان ثقاب بعد حشرها فى قرص صغير من الفلين (شكل ٧٠) .

وكثيرا ما نسمع او نقرأ تفسيرات خاطئة ، متعلقة بهذه التجربة القديمة * ، ومن تلك التفسيرات على الاخص ، القول بان « احتراق الاكسجين » يؤدى الى تقليل كمية الغاز الموجود تحت القدح . ان هذا التفسير خاطئ جدا لان السبب الرئيسى يكمن فى تدفئة الهواء فقط ، وليس فى استهلاك قسم من الاكسجين عند احتراق قطعة الورق الملتهبة . وتستخلص هذه النتيجة ، اولا ، من امكانية القيام بهذه التجربة بدون استخدام ورقة ملتهبة ، بل بمجرد تدفئة القدح بالماء الحار . وثانيا ، اذا استخدمنا بدل الورقة الملتهبة ، قطعة من القطن مبللة بالكحول ، وهى تشتعل لمدة اطول وتسخّن الهواء بصورة



شكل ٧٠ : كيفية التقاط قطعة النقود من الماء . بدون تبليل الاصابع .

* ان اول من وصف هذه التجربة وفسرها تفسيرا صحيحا ، هو الفيزيائى القديم فيلون البيزنطى ، الذى عاش فى القرن الاول قبل الميلاد .

11 Зак. 15662

اشد ، لوجدنا ان الماء يرتفع تقريبا الى منتصف القدح ، بينما المعروف عن الاكسجين ، انه يشغل $\frac{1}{5}$ حجم الهواء باجمعه فقط . واخيرا ، يجب ان تأخذ فى الاعتبار ، ان الاكسجين « المحترق » ، يخلّف وراءه غاز ثانى اكسيد الكربون وبخار الماء ، والحقيقة ، فان الغاز يذوب فى الماء . اما البخار فيبقى ليحل محل قسم من الاكسجين .

كيف نشرب ؟

هل ان هذا السؤال يستحق التفكير ؟ بالطبع . فعندما نشرب ، نقرب القدح او الملعقة المحتوية على السائل ، من الفم ، ثم نرتشف السائل الذى فيها . ان ارتشاف السائل بهذه الطريقة البسيطة التى اعتدنا عليها ، يحتاج الى تفسير . لماذا يندفع السائل الى فمنا ؟ وما الذى يدفعه الى ذلك ؟ السبب هو اننا عند الشرب ، نوسّع القفص الصدرى ، وبذلك نخلخل الهواء الموجود فى الفم ، وتحت تأثير الضغط الجوى ، يندفع السائل الى الفراغ الذى يكون فيه الضغط اقل ، وبذلك يدخل الى الفم .

وهنا يحدث للسائل نفس الشيء الذى يحدث له فى الاوانى المستطرقة ، اذا خلخلنا الهواء فوق احد الاوانى المذكورة ، لان السائل سيرتفع فى هذا الاناء تحت تأثير الضغط الجوى . وعلى العكس من ذلك ، لو وضعنا عنق الزجاجة فى فمنا ، واردنا ان نرتشف منها الماء ، لما استطعنا القيام بذلك مهما بذلنا من جهد ، وذلك لان ضغط الهواء فى داخل الفم يساوى ضغط الهواء الموجود فى الزجاجة فوق الماء .

وهكذا فاننا على وجه التدقيق ، لا نشرب بالفم فقط ، بل وبالرئتين ايضا ، لأن توّسع الرئتين بالذات يؤدى الى اندفاع السائل نحو الفم .

قمع محسن

ان كل من قام بصب سائل ما فى قنينة زجاجية بواسطة قمع ، يعرف انه لابد من رفع القمع الى الاعلى من وقت لآخر ، والا فلن ينساب منه السائل . ان الهواء المحصور فى داخل القنينة ، لا يجد له منفذا ، فيضغط على الماء الموجود فى القمع ويمنعه من

الانسياب . وفي الحقيقة ، فان قليلا من السائل ينساب الى الاسفل ، بحيث ينضغط الهواء الموجود فى القنينة بعض الشيء ، نتيجة لضغط السائل . ولكن ستكون للهواء المحصور فى حجم مصغر ، مرونة عالية ، تكفى لجعل السائل الموجود فى القمع يتوازن مع ضغط الهواء . ومن المفهوم اننا برفع القمع الى الاعلى ، نفتح منفذا لخروج الهواء المضغوط الى الجو ، وعندئذ يبدأ السائل بالانسياب من جديد .

ولذلك فمن المفيد عمليا ، انتاج القمع بحيث يحتوى قسمه الضيّق على نتوءات طولية على سطحه الخارجي ، وهذه النتوءات تحول دون التصاق القمع بعنق القنينة الزجاجية .

طن خشب وطن حديد

هناك سؤال هزلىّ معروف لدى الجميع هو : ايهما اثقل ، طن من الخشب ام طن من الحديد ؟ وعادة ، يأتى الجواب بلا تفكير ، بان طن الحديد اثقل ، الامر الذى يثير الضحك بين السامعين .

وربما يتعالى ضحك الناس الظرفاء ، اذا اتاهم الجواب بان طن الخشب اثقل من طن الحديد . يبدو ان هذا الجواب لا يصدق مطلقا ، ولكنه صحيح بكل معنى الكلمة .

وتفسير ذلك هو ان قانون ارخميدس لا ينطبق على السوائل فقط ، بل وينطبق على الغازات ايضا . ان كل جسم موجود فى الهواء ، يفقد من وزنه مقدارا يساوى وزن الهواء الذى يزيحه الجسم . وبالطبع ، فان الخشب والحديد ايضا ، يفقدان جزءا من وزنيهما فى الهواء . ولكى نحسب وزنيهما الحقيقيين ، يجب اضافة الفقدان . وهكذا ، فان الوزن الحقيقى للخشب فى هذه الحالة يساوى ١ طن + وزن الهواء الذى يزيحه الخشب ، والوزن الحقيقى للحديد يساوى ١ طن + وزن الهواء الذى يزيحه الحديد . ولكن طن الخشب يشغل حجما اكبر بكثير من الحجم الذى يشغله الحديد (بـ ١٥ مرة) . ولذلك ، فان الوزن الحقيقى لطن الخشب ، اكبر من الوزن الحقيقى لطن الحديد ! واذا اردنا التعبير الدقيق ، لوجب علينا ان نقول بان الوزن الحقيقى للخشب الذى يزن فى الهواء

طنا واحدا ، اكبر من الوزن الحقيقي للحديد الذي يزن في الهواء طنا واحد ايضا . وبما ان طن الحديد يشغل حجما قدره $\frac{1}{8}$ م٣ ، بينما يشغل طن الخشب حوالى ٢م٣ ، فان الفرق بين وزني الهواء المزاح في الحالتين ، يجب ان يساوي ٢ر٤ كجم تقريبا . وهكذا يكون الوزن الحقيقي لطن الخشب اكبر من الوزن الحقيقي لطن الحديد بمقدار ٢ر٥ كجم

الرجل الذي فقد وزنه

ان الحلم الذي يراود الكثيرين في مرحلة الطفولة ، هو ان يصبح جسمنا خفيفا ليس مثل الزغابة فحسب ، بل اخف من الهواء * ، لكي نستطيع بتخلصنا من قيود الجاذبية المزعجة ، ان نرتفع بحرية في الجو اينما اردنا . وعند التفكير في ذلك ، يغيب عن بال الناس شيء واحد ، هو انهم يستطيعون ان يتحركوا على الارض بحرية ، لسبب واحد فقط ، هو ان اجسامهم اثقل من الهواء . واذا اردنا الحقيقة ، فاننا « نعيش على قاع المحيط الهوائي » — كما عبر عن ذلك العالم توريتشيللي . واذا اصبحنا لسبب ما ، اخف من الهواء ، لتحتم علينا ان نرتفع سباحة الى سطح هذا المحيط الهوائي . ولحدث لنا نفس الشيء الذي حدث لذلك العسكري المذكور في احدى روايات بوشكين ، عندما قال « لقد شربت كلّ ما في القنينة ، صدق او لا تصدق — ولكني فجأة وجدت نفسي معلقا في الهواء مثل الريشة » . ونحن كذلك ، كنا سنرتفع في الهواء لعدة كيلومترات بكاملها الى ان نصل المنطقة ، التي تكون فيها كثافة الهواء المخلخل ، مساوية لكثافة اجسامنا . وهكذا ، فان احلام التحليق بحرية فوق الجبال والوهاد ، ستتبخر في الحال ، وذلك لاننا بتحررنا من قيود الجاذبية ، سنصبح في الحال مقيدين باصفاد قوة اخرى هي التيارات الهوائية .

* ان الزغابة — خلافا للفكرة الشائعة اثقل من الهواء بمئات المرات . وهي تحلق في الجو لسبب واحد ، هو ان مساحة سطحها كبيرة جدا ، بحيث تكون مقاومة الهواء لحركتها هائلة اذا ما قورنت بوزنها .



شكل ٧١ : قال بايكرافت : انا هنا يا صديقى !

وقد اختار الكاتب ويلز مثل هذه الحالة الشاذة ، ليجعل منها موضوعا لاحدى قصصه الخيالية .

اراد شخص بدين جدا ، ان يخفف من وزنه ، مهما كلفه الامر . ويبدو انه كانت فى حوزة القاص وصفة عجيبة ، تجعل الشخص البدين يتخلص من وزنه الثقيل جدا . وقد أخذ الرجل البدين من القاص ، تلك الوصفة ، وشرب الدواء — وقد اصيب

القاص بالذهول ، لتلك المفاجأة التى لم يتوقعها ، فعندما أتى لزيارة صديقه البدين وطرق عليه الباب :

« مضت فترة طويلة دون ان يفتح الباب . وسمعت صوت المفتاح وهو يدور فى ثقبه ، وتبعه صوت بايكرافت (وهو اسم الرجل البدين) قائلا :

ـ ادخل ..

ادرت مقبض الباب وفتحته . وقد توقعت بالطبع ان ارى بايكرافت ، ولكنه لم يكن موجودا ! وقد كانت الغرفة غير منتظمة ، فالاطباق والاوانى داخلة بين الكتب ، وكانت ادوات الكتابة وبعض الكراسى مقلوبة . اما بايكرافت ، فلم يكن موجودا ...

ـ انا هنا يا صديقى ! اقفل الباب ..

قال ذلك ، وعندئذ عثرت عليه . كان موجودا عند افريز السقف ، فى الزاوية القريبة من الباب ، كما لو ان احدا ما قد لصقه بالسقف تماما . وقد بدا الغضب على وجهه ، الذى كان يعبر عن الرعب . فقلت له :

ـ اذا حدث وسقطت على الارض ، فستنكسر رقبتك .

فاجاب :

ـ تمنيت لو حدث ذلك . .

فسألته :

ـ كيف يستطيع من كان بعمرك ووزنك ان يزاول مثل هذه التمارين الرياضية ... ولكن يا للشيطان .. كيف استطعت التعلق بهذا الشكل ؟

ولاحظت فجأة ، انه لم يتعلق بشيء مطلقا ، ولكنه كان يسبح فى الاعلى ، مثل الفقاعة المنفوخة بالغاز .

وحاول بجهده ان يبتعد عن السقف ، ويزحف نحوى الى الاسفل بمحاذاة الجدار . وامسك باطار اللوحة المعلقة ، فانجذب الاطار .. اما هو ، فطار الى السقف ثانية . واصطدم به ، وعندئذ فهمت لماذا كانت الاجزاء والزوايا البارزة من جسمه ، ملوثة بالطباشير (الجير) . وحاول مرة اخرى وبحذر شديد ، ان يهبط عن طريق موقد التدفئة .

ثمَ قال وهو يلهث :

ـ لقد كان الدواء ناجحا جدا ، اد جعلني افقد وزني تماما .

وهنا ادركت كلّ شيء ، وقلت له :

ـ بايكرافت ! لقد كنت بحاجة الى التخلص من البدانة ، التي كنت تسميها دائما بالوزن .. والآن سوف اساعدك على الوقوف ـ قلت ذلك وامسكت بيده ثم سحبته الى الاسفل .

وأخذ يتراقص في الغرفة ، ويحاول ان يجد موطئا لقدميه ، اينما كان . لقد كان منظره مضحكا ! وقد كنت كثير الشبه ، بمن يحاول منع الشراع من الحركة عندما تكون الرياح قوية .

وقال بايكرافت البائس :

ـ ان هذه المنضدة تصمد للرقص ، فهي صلبة وثقيله جدا .. فهل لك ان تحشرني تحتها ؟

وقد فعلت ما طلب مني . ولكنه وهو محشور تحت تلك المنضدة ، كان يتأرجح هناك مثل بالون مربوط ، لا يهدأ حتى لدقيقة واحدة . ثم قلت له :

ـ هناك شيء واضح .. وهو بالذات ، الشيء الذي يجب الا تفعله . فاذا فكرت بالخروج من البيت مثلا ، فانك سوف ترتفع الى الاعلى اكثر فاكثر ..

واقترحت عليه وجوب التكيّف لظروفه الجديدة . والمحت بانه سوف لا يجد صعوبة في تعلم المشي على السقف باستخدام يديه .

ثم قال متذمرا :

ـ انني لا استطيع النوم .

واشرت قائلا ، انه من الممكن تماما ان تثبّت بشبكة السرير حشيّة وثيرة ، ثم نربط معها كافة الاشياء الداخلية بواسطة شرائط ، ونشد على الجنب لحافا وشرشفا .

واحضرنا له سلّما خشبيا ووضعناه في الغرفة ، كما وضعنا الطعام كله فوق خزانة الكتب . واهتدينا كذلك الى بدعة طريقة ، تمكن بايكرافت بفضلها ، ان يهبط الى

الارض متى اراد ذلك . وتتلخص تلك البدعة فيما يلي :

كانت « الموسوعة البريطانية » موضوعة على الرف العلوي للخزانة المفتوحة ، فاذا اراد بايكرافت الهبوط الى الارض ، فلن يكلفه ذلك اكثر من تناول جزءين من اجزاء الموسوعة بكلتا يديه .

وقد بقيت معه في الشقة لمدة يومين كاملين . واستطعت بواسطة المطرقة والمثقب ان اقيم له كافة التجهيزات المبتكرة الممكنة، وقد مددت له سلكا لكي يستطيع ان يصل الى الاجراس ، وغير ذلك .

ثم جلست بجوار الموقد . اما هو فقد كان معلقا في زاويته المفضلة ، عند الافريز بعد ان غطى السقف ببساط تركي ، وكانت تراودني عندئذ فكرة جعلتني اهتف قائلا :

— بايكرافت ! لا حاجة لنا بكل ما فعلناه فلو وضعت بطانة من الرصاص تحت ثيابك لانتهى الامر !

وكاد بايكرافت ان يبكي من الفرح عندما سمع ذلك . واستطردت الحديث قائلا :

— يجب شراء صفائح من الرصاص والقيام بخياطتها تحت ملابسك . البس احذية تحتوي على نعال من رصاص ، واحمل بيديك حقيبة من الرصاص الصلب، وسيصبح كل شيء على ما يرام ! وسوف لا تكون بعد ذلك اسيرا هنا ، حيث تستطيع السفر الى الخارج والقيام برحلات بعيدة . وعندئذ لن يخيفك تحطم السفينة مطلقا ، فما عليك في تلك الحالة ، الا ان تلقي عن جسمك بعض الملابس او كلها ، ويكون في استطاعتك دائما ان تطير في الهواء » .

ان ذلك كله ، يبدو من النظرة الاولى مطابقا تماما لقوانين الفيزياء . ولكن يجب الا ندع بعض تفاصيل القصة الاخرى ، تمرّ دون ان نعترض عليها . واهم اعتراض ، هو ان الرجل البدين ، بالرغم من كونه عديم الوزن ، لم يكن قادرا على الارتفاع الى سقف الغرفة .

وبالفعل ، كان على بايكرافت ، حسب قانون ارخميدس ، ان يسبح نحو السقف

فى حالة واحدة هى : لو كان وزن ثيابه وكافة الحاجيات الموجودة فى جيوبه ، اقل من وزن الهواء الذى يزيحه جسم الرجل البدين . ماذا يساوى وزن الهواء الذى يزيحه الجسم ؟ ليس من الصعب حساب ذلك ، اذا تذكرنا ان وزن جسمنا ، يساوى تقريبا وزن نفس الحجم من الماء . ويبلغ معدل وزن جسم الانسان ٦٠ كجم ، ووزن نفس الحجم (حجم الجسم) من الماء ، يساوى نفس المقدار السابق تقريبا . اما الهواء العادى الكثافة فهو اخف من الماء بمقدار ٧٧٠ مرة ، وهذا يعنى ان وزن الهواء الذى يزيحه الجسم ، يساوى ٨٠ جم فقط . ومهما كان السيد بايكرافت بدينا ، فلم يكن وزنه يزيد على ١٠٠ كجم ، وبالتالى لم يكن بمقدوره ان يزيح اكثر من ١٣٠ جم من الهواء . وليس من المعقول الا تزن ثياب بايكرافت مع حذائه وساعته ومحفظته وغير ذلك ١٣٠ جم ؟

اذا كان الامر كذلك ، لوجب على الرجل البدين ، البقاء على ارض الغرفة ، ولكن فى وضعية حرجة ، ومع ذلك فلن يسبح نحو السقف «مثل بالون مربوط» . وكان يتحتم على بايكرافت ان يسبح الى السقف فعلا ، لو تعرّى من ثيابه تماما . اما عندما كان مرتديا ثيابه ، فقد كان شبيها بشخص مربوط بمنطاد ، فلو قام بجهد بسيط او قفزة هادئة ، لحمله المنطاد الى ارتفاع شاهق فوق سطح الارض ، ثم هبط به ثانية الى الاسفل بكل سلاسة ، عندما تكون الرياح ساكنة .

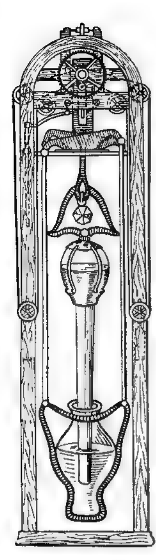
ساعة «دائمة الحركة»

لقد بحثنا فى هذا الكتاب عددا من «المحركات الدائمة الحركة» المزعومة ، وبيّنا عدم جدوى التفكير بمحاولة اختراعها .

ولنتحدث الآن عن محرك «الطاقة الممنوحة» ، اى عن ذلك المحرك ، القابل للعمل المستمر دون ان نعتنى بامره ، لانه يتزوّد بالطاقة اللازمة لحركته ، من مصادرها التى لا تنضب ، الموجودة فى الوسط المحيط.

لا بد وان معظم القراء قد شاهدوا البارومتر — الزئبقي او المعدني . ان سطح العمود الزئبقي في البارومتر الاول ، يكون دائما اما في حالة ارتفاع او في حالة انخفاض ، تبعا لتغيّر الضغط الجوى . وفي البارومتر المعدني يكون المؤشر دائم التذبذب ، لنفس السبب السابق . وفي القرن الثامن عشر ، استخدم احد المخترعين حركات البارومتر هذه ، لتشغيل آلية الساعة . واستطاع بهذا الشكل صنع ساعة تشتغل من تلقاء نفسها دون ان تتوقف او تحتاج الى اى تدوير . وقد شاهد العالم الفلكي والميكانيكي الانكليزي المشهور فيرجوسون ، تلك الساعة الجذابة ، وكتب (عام ١٧٧٤) يصف مشاهدته لها قائلا : « لقد فحصت الساعة المذكورة اعلاه ، التي تتحرك باستمرار ، بواسطة ارتفاع وانخفاض الزئبق الموجود في بارومتر خاص الصنع ، وليس هناك ما يدعو الى التفكير بان تلك الساعة ستتوقف في وقت ما ، وذلك لان القوة المحركة المخزونة فيها ، تكفي لتشغيل الساعة لمدة عام كامل ، حتى بعد ابعاد البارومتر نهائيا . ويجب ان اقول بكل صراحة ، لقد ظهر لى بعد ان تفقدت الساعة مدة طويلة ، انها اظرف آلة رأيتها حتى الآن ، من كلتا الناحيتين ، التصميمية والتنفيذية ».

ولكن للاسف ، لم تحفظ تلك الساعة الى يومنا هذا . اذ انها سرقت ولم يعثر عليها بعد ذلك . ولحسن الحظ ، بقيت مخططاتها التصميمية التي رسمها العالم فيرجوسون ،



شكل ٧٢ : تركيب محرك الطاقة الموهوبة ، الذي تم صنعه في القرن الثامن عشر .

وبذلك نستطيع اعادة تركيبها من جديد . تتكون آلية الساعة من بارومتر زئبقي ضخم ، يحتوى على ١٥٠ كجم من الزئبق ، الموضوع فى وعاءين زجاجيين ، ادخل عنق احدهما فى فوهة الآخر بصورة عمودية ، وعلق كلاهما باطار (شكل ٧٢) . وقد تمّ تثبيت الوعاءين بحيث يتحركان بالنسبة لبعضهما البعض . فعندما يرتفع الضغط الجوى ، تقوم مجموعة من العتلات المصنوعة بمهارة ، بخفض الوعاء العلوى ورفع الوعاء السفلى . اما عندما ينخفض الضغط الجوى ، فيحدث العكس . وتعمل هاتان الحركتان على تدوير عجلة مسننة صغيرة ، في اتجاه واحد على الدوام . ولاتتوقف العجلة الا عندما لا يحدث اى تغيّر فى الضغط الجوى ، ولكن فى تلك الاثناء ، تستمر الآلية فى حركتها ، باستخدام الطاقة الكامنة لهبوط الاثقال المربوطة بها . وليس من السهل جعل الاثقال ترتفع الى الاعلى فى وقت واحد ، وتعمل عند هبوطها على ادارة آلية الساعة . ولكن مهارة صناع الساعات القدماء ، سهلت القيام بهذه المهمة . حتى لقد ظهر ان طاقة تغيّر الضغط الجوى ، كانت تفيض عن الحاجة ، اى ان الاثقال أخذت ترتفع اسرع مما تهبط ، وبهذا فقد ظهرت الحاجة الى جهاز خاص لمنع هبوط الاثقال بصورة دورية ، كلما وصلت الى النقطة العليا .

ومن السهل ملاحظة الاختلاف المبدئى المهم بين هذه الساعة وامثالها من محركات « الطاقة الممنوحة » ، وبين المحركات « الدائمة الحركة » .

وفى محركات « الطاقة الممنوحة » لا تتولد الطاقة من العدم ، كما كان يفكر اولئك الذين اخترعوا المحرك الدائم الحركة ، بل انها تستمد من الخارج ، وفى حالتنا هذه — من المحيط الجوى ، حيث تكون مخزونة فى اشعة الشمس . ومن الناحية العملية ، فقد كان من الممكن الا تقل فائدة محركات « الطاقة الممنوحة » عن فائدة المحركات « الدائمة الحركة » الحقيقية ، لو لم يكن صنعها يكلف مبالغ طائلة بالمقارنة مع ما تعطيه من طاقة (كما يحدث فى اكثر الاحيان) .

وسنتعرف فيما بعد ، على انواع اخرى من محركات « الطاقة الممنوحة » ونوضح بالامثلة ، لماذا يكون استخدام مثل هذه الآلات فى الصناعة ، كقاعدة ، غير مثمر على الاطلاق .

الفصل السادس | **الظواهر الحرارية**

متى تكون السكة الحديدة اطول ـ صيفا ام شتاء ؟

ما هو طول السكة الحديدية الواصلة بين مدينتي موسكو ولينينغراد ؟ لقد اجاب احدهم على هذا السؤال قائلا :

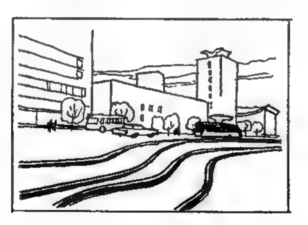
ـ طولها ٦٤٠ كم في المعدّل ، وفي الصيف تكون اطول مما هي عليه في الشتاء بمقدار ٣٠٠ م .

وهذه الاجابة غير المتوقعة ، ليست سخيفة كما قد يبدو . ذلك لاننا لو قصدنا بطول السكة الحديدية ، هو طول القضيب الحديدي الصلب . عندئذ يجب ان يكون في الصيف اطول مما هو عليه في الشتاء . اذ يجب عدم تجاهل الظاهرة المعروفة وهي ان القضبان الحديدية تتمدد نتيجة التسخين بمقدار يزيد عن $\frac{١}{١٠٠٠٠٠}$ من طولها ، كلما ارتفعت درجة الحرارة ، درجة مئوية واحدة . وفي ايام الصيف القائظة ، قد تصل درجة حرارة القضيب الى ما يتراوح بين ٣٠ ــ ٤٠° مئوية واكثر ، واحيانا يسخن القضيب تحت حرارة الشمس ، بدرجة شديدة بحيث تكتوي اليد عند ملامسته . وتنخفض درجة حرارة القضيب في ايام البرد القارص الى ــ ٢٥ °مئوية واقل . فاذا فرضنا ان الفرق بين درجة الحرارة صيفا وشتاء هو ٥٥° مئوية ، فبضرب الطول الكلي للقضيب ، وهو ٦٤٠ كم في $\frac{١}{١٠٠٠٠٠}$ وفي ٥٥ ، ينتج حوالى $\frac{١}{٣}$ كم. يستنتج من ذلك ، ان طول السكة الحديدية الواصلة بين موسكو ولينينغراد ، يكون في الصيف اطول مما هو عليه في الشتاء بمقدار $\frac{١}{٣}$ كم ، اى حوالى ٣٠٠ م .

والذى يتغيّر فى هذه الحالة ، ليس طول الطريق بالطبع ، ولكن مجموع اطوال جميع القضبان فقط . وهذا الامر يختلف عن سابقه . ذلك لأن قضبان السكة الحديدية غير متصلة ببعضها اتصالا محكما ، بل توجد بينها فواصل — احتياط لتمدد القضبان بحرية عند تسخنها (عندما يصل طول القضبان الى ٨ م ، يجب ان يكون طول الخلوص — الفاصلة — ٦ مم عند درجة الصفر المئوية . ولسد الخلوص سدا محكما ، يجب رفع درجة حرارة القضيب الى ٦٥° مئوية .

وعند مد خطوط الترام ، لا يجوز ترك خلوصات — فواصل — وذلك بموجب الشروط التكنيكية . وهذا لا يسبب فى العادة ، تعرج القضبان ، لان تثبيتها فى داخل الارض ، يقلل من تفاوتات درجة الحرارة ، بالاضافة الى ان طريقة تثبيتها بالذات ، تحول دون تعرجاتها الجانبية . ومع ذلك فان قضبان الترام تتعرج فى ايام القيظ الشديد ، كما يتضح ذلك من الرسم المبين فى الشكل ٧٣ ، المستنسخ عن صورة فوتوغرافية .

واحيانا يحدث نفس الشيء لقضبان السكة الحديدية . وحقيقة الامر ، هى ان عربة القطار اثناء سيرها فوق المنحدرات تسحب معها قضبان السكة الحديدية — وفى بعض الاحيان تسحب القضبان والعوارض معا — مما يؤدى اخيرا الى تلاشى الخلوصات .



شكل ٧٣ : تقوس سكك الترام الحديدية نتيجة التسخين الشديد باشعة الشمس .

في تلك الاقسام المذكورة من الطريق ، فتلتصق اطراف القضبان مع بعضها التصاقا محكما .

ويتضح من حسابنا السابق ، ان مجموع اطوال جميع القضبان ، يزداد على حساب الطول الكلي للخلوصات ، ويصل التمدد الكلي في ايام الصيف القائظ الى ٣٠٠ م ، بالمقارنة مع طوله في ايام البرد القارص .

وهكذا تكون السكة الحديدية الواصلة بين مدينتي موسكو ولينينغراد ، في الصيف ، اطول بمقدار ٣٠٠ م ، مما هي عليه في الشتاء .

سرقة لا يعاقب عليها القانون

على خط لينينغراد ــ موسكو ، تفقد في كل شتاء ، مئات الامتار من اسلاك التلفون والتلغراف ، دون ان يعثر لها على اثر ، ولم يقلق هذا الامر احدا من الناس ، بالرغم من معرفة هوية السارق معرفة تامة .

وبالطبع ، فان القارئ ايضا يعرف من هو السارق ــ انه الصقيع ! ان كل ما ذكرناه عن قضبان السكة الحديدية ، ينطبق تماما على خطوط المواصلات ، مع اختلاف واحد فقط ، هو ان اسلاك التلفون النحاسية تتمدد بالحرارة ، اكثر من تمدد الفولاذ بمرّة ونصف . ولكن لا توجد هنا اية خلوصات ، ولذلك فاننا نستطيع التأكيد بلا تحفظات ، بان الخط التلفوني لينينغراد ــ موسكو ، يكون في الشتاء اقصر بمقدار ٥٠٠ م ، مما هو عليه في الصيف .

ان الصقيع يسرق كل شتاء حوالي نصف كيلومتر من الاسلاك دون ان يعاقب على ذلك ، ولكنه بالمناسبة ، لا يلحق اى ضرر بعمل التلفون او التلغراف ، ويقوم في بداية الصيف باعادة المسروقات الى مكانها بانتظام . ولكن عندما يحدث مثل هذا الانضغاط الناتج عن البرد ، في الجسور ، لا في الاسلاك ، تكون العواقب سيئة في بعض الاحيان .

واليكم ما جاء في الصحف الصادرة في شهر ديسمبر (كانون الاول) عام ١٩٢٧ ، عن احدى الحوادث المماثلة :

« ان الصقيع الذى لم تعرفه فرنسا من قبل ، والذى دام عدة ايام ، عمل على الحاق ضرر كبير بجسر نهر السين ، في قلب العاصمة باريس . لقد تقلص الهيكل الحديدى للجسر نتيجة للبرد ، الامر الذى أدى الى قلع احجار رصف الطريق وتبعثرها فوقه ، ومنع مرور وسائل النقل على الجسر ، مؤقتا » .

ارتفاع برج ايفل

اذا سئلنا ما هو ارتفاع برج ايفل ، فاننا قبل ان نجيب بانه « ٣٠٠ م » ، يحتمل ان نطلب من السائل ان يوضح لنا في اى وقت من الاوقات ــ صيفا ام شتاء ؟

ان ارتفاع مثل هذا الانشاء الحديدى الضخم ، لا يمكن ان يبقى ثابتا عند مختلف درجات الحرارة . ونحن نعلم ان القضيب الحديدى الذى يبلغ طوله ٣٠٠ م يزداد طولا بمقدار ٣ مم ، كلما ارتفعت درجه حرارته درجة مئوية واحدة . وفي الايام الصحوة الدافئة ، يمكن ان تصل درجة حرارة البرج الحديدى في باريس الى ٤٠° مئوية ، بينما تنخفض درجة حرارته في الايام الممطرة الباردة الى ١٠° مئوية ، وتصل شتاء الى درجة الصفر المئوى ، وحتى الى ــ ١٠° مئوية (ان الايام القاسية البرد قليلة جدا في باريس) .

وكما نرى فان تغير درجة الحرارة يصل الى ٤٠° مئوية واكثر . يعنى ان ارتفاع برج ايفل يمكن ان يتغيّر بمقدار ٣×٤٠ = ١٢٠ مم ، اى بمقدار ١٢ سم .

وقد لوحظ بواسطة القياسات المباشرة ، ان برج ايفل يتأثر بتغيّر درجة الحرارة ، اكثر مما يتأثر الهواء : ان البرج يسخن ويبرد اسرع من الهواء ، ويتأثر بظهور الشمس المفاجئ في الايام الغائمة ، قبلما يتأثر الهواء . وقد تم ايجاد تغيّرات ارتفاع برج ايفل ، بواسطة سلك مصنوع من سبيكة خاصة من النيكل والفولاذ ، لا يتأثر طوله بتغيّر درجة الحرارة تقريبا . وتسمى هذه السبيكة المدهشة بـ « الانفار » ، وهذه التسمية مأخوذة من اللغة اللاتينية ومعناها « لا متغيّر » .

من قدح الماء الى مقياس منسوب الماء

ان ربة البيت الخبيرة . لا تصب الشاى فى الاقداح الا بعد ان تضع الملاعق في داخلها ، وخاصة اذا كانت الملاعق فضية .

ان هذه الطريقة الصحيحة هي وليدة التجارب اليومية في الحياة . على اى اساس بنيت هذه الطريقة ؟

لنشرح قبل ذلك ، لماذا تتصدع الاقداح الزجاجية عند صب الماء الحار فيها .

ان السبب هو التمدد غير المنتظم للزجاج . والماء الحار عندما يصب في القدح . فانه لا يسخن جدرانه في الحال ، بل يسخن اولا الطبقة الداخلية للجدران ، في الوقت الذى لم تسخن فيه الطبقة الخارجية بعد . وتتمدد الطبقة الداخلية الساخنة فى الحال ، وتبقى الطبقة الخارجية على حالها ، وتتعرض بالتالى الى ضغط قوى من الداخل . ويحدث الانفصام ثم يتصدع الزجاج او قد ينكسر .

ولا يجب التفكير فى انه باستطاعتنا تجنب مثل هذه المفاجآت ، اذا اقتنينا اقداحا سميكة الجدران . ان الاقداح السميكة الجدران ، هى اقل الاقداح مقاومة من هذه الناحية . وهذا واضح ، لان الجدار الرقيق يسخن بسرعة اكبر . وسرعان ما تتساوى درجة الحرارة في جميع نواحيه وبذلك يتساوى تمدده ؛ بينما فى الجدار السميك . تسخن طبقة الزجاج ببطء .

ويجب الا ننسى شيئا واحدا ، وهو عندما نقوم بانتقاء الاوعية الزجاجية الرقيقة الجدران ، يجب ان نحرص على ان تكون قواعدها رقيقة ايضا ، بالاضافة الى رقة جدرانها . عندما نصب الماء الحار ، تسخن القاعدة بالدرجة الرئيسية ، فاذا كانت سميكة فان القدح سيتصدع مهما كانت رقة جدرانه . وكذلك فان الاقداح والفناجين الصينية ، المحتوية على بروزات حلقية سميكة من الاسفل ، تكون سريعة الكسر .

وكلما كان الاناء الزجاجي رقيق الجدران ، كلما امكن تعريضه للحرارة بلا خطر .

ويستخدم الكيميائيون اوان زجاجية رقيقة الجدران جدا ، ويغلون الماء فى داخلها على لهب المصباح مباشرة ، غير قلقين على سلامة الاناء .

وبالطبع ، كان باستطاعتنا ان نعتبر الاناء الذي لا يتمدد عند التسخين مطلقا ، بمثابة اناء مثالي . ان الكوارتز يتمدد بالحرارة تمددا قليلا جدا : اقل من تمدد الزجاج بما يتراوح بين ١٥ — ٢٠ مرة .

ويمكن تسخين الاناء السميك المصنوع من الكوارتز الشفاف ، الى اى حد نريد ، دون ان ينكسر . ويمكن بكل جرأة ، ان نرمى اناء من الكوارتز ، مسخن حتى الاحمرار ، في ماء مثلج ، دون اى قلق * . وهذا يرجع لدرجة ما ، الى ان الموصلية الحرارية للكوارتز ، اكبر من الموصلية الحرارية للزجاج بكثير .

والاقداح لا تنكسر عند التسخن السريع فقط ، بل وعندما تتعرض الى البرودة المفاجئة ايضا . والسبب في ذلك ، هو التقلّص غير المنتظم : عندما تبرد الطبقة الخارجية ، تتقلص وتضغط على الطبقة الداخلية بشدة ، تلك التى لم تبرد ولم تتقلص بعد . ولذلك وعلى سبيل المثال ، يجب الا يوضع البوقال الزجاجي المحتوى على مربى حار ، في محل بارد ، او غطه في ماء بارد وغير ذلك .

نعود الآن الى ملعقة الشاى الموضوعة في القدح . الى اى شيء يستند عملها الوقائي ؟

ان الاختلاف الشديد بين تسخن الطبقتين الداخلية والخارجية لجدار القدح الزجاجي ، يحدث فقط ، عندما نصب في القدح ماء حارا دفعة واحدة . والماء الدافئ لا يؤدي الى اختلاف شديد في التسخين ، وبالتالى الى اختلاف في تمدد مختلف اجزاء القدح ، لذا لا ينكسر القدح بتأثير الماء الدافئ .

ماذا يحدث اذن لو وضعنا في القدح ملعقة ؟ عند ملامسة الماء الحار لقعر القدح ، فانه قبل ان يسخن الزجاج (الردئ التوصيل للحرارة) ، يعطى قسما من حرارته للموصل الجيد — للمعدن ، فتنخفض بذلك درجة حرارة الماء ، ويتحول من حار

---

* ان اناء الكوارتز ملائم للاستخدام في المختبرات ، وذلك لان له ميزة اخرى ، هي انه صعب الانصهار : لا يلين الا عند درجة ١٧٠٠° مئوية .

10 Зак. 15662

الى دافئ ، ولذلك يصبح عديم الضرر تقريبا . ثم يصبح الاستمرار في صب الشاي الحار . عملية لا تشكل اى خطر على سلامة القدح ، لانه قد سخن بعض الشئ .

وباختصار ، فان الملعقة المعدنية الموجودة في القدح (وخاصة اذا كانت ثقيلة) ، تقلل من عدم انتظام تسخن الاخير ، وبذلك تحول دون انكساره .

ولكن ، لماذا تكون الملعقة الفضية احسن من غيرها من هذه الناحية ؟ لان الفضة موصل جيد للحرارة . والملعقة الفضية تسلب حرارة الماء ، اسرع من الملعقة النحاسية .

ان الملعقة الفضية الموضوعة داخل قدح فيه شاي حار ، تكوى اليد ! في حين لا توجد للملعقة النحاسية تلك الامكانية . وبهذه الدلالة نستطيع تمييز مادة الملعقة بالضبط .

ان تمدد الجدران الزجاجية ، تمددا غير منتظم ، لا يعرض سلامة اقداح الشاي وحدها للخطر ، بل ويعرض للخطر كذلك . الاجزاء المهمة للغلايات — مقاييس منسوب الماء ، التى تعين ارتفاع الماء في الغلاية .

ان الطبقات الداخلية لهذه المقاييس الزجاجية ، المسخنة بالماء الحار والبخار ، تتمدد اكثر من الطبقات الخارجية . ويضاف الى التمدد الناتج عن السبب المذكور ، الضغط القوى لكل من البخار والماء ، الموجودين في انبوبة . المقياس ، الامر الذى قد يؤدى الى انفجارها بسهولة . وللحيلولة دون ذلك ، تصنع المقاييس احيانا من طبقتين من الزجاج المختلف الانواع ، بحيث يكون معامل تمدد الطبقة الداخلية ، اصغر من معامل تمدد الطبقة الخارجية .

اسطورة عن الحذاء في الحمام

« لماذا يكون النهار في الشتاء قصيرا ، والليل طويلا ، وفي الصيف يصبح الامر معكوسا ؟

يكون النهار في الشتاء قصيرا ، لانه مثل بقية المواد الاخرى ، المرئية وغير

المرئية ، يتقلص متأثرا بالبرد ، اما الليل فيسخن بتأثير القناديل والمصابيح المشتعلة ، ثم يتمدد » .

ان هذا التعليل الغريب ، الذى جاء على لسان احد جنود القوزاق المتقاعدين ، فى احدى قصص تشيخوف ، يدعو الى الضحك لسخافته الواضحة . ولكن الناس الذين يستخفون بامثال هذه الافكار « الملفّقة » ، كثيرا ما يأتون انفسهم ، بنظريات قد تكون على نفس الدرجة من السخافة . من منا لم يسمع او يقرأ عن الحذاء الموجود فى الحمام ، والذى لا يدخل فى رجل صاحبه الحارة ، كما لو كان السبب فى ذلك ، « تمدد حجم القدم عند التسخّن » ؟ لقد اصبح هذا المثال المشهور نموذجيا على وجه التقريب ، بينما يفسّر بشكل سئ للغاية .

وقبل كل شىء ، فان درجة حرارة جسم الانسان ، لا ترتفع تقريبا عند وجوده فى الحمام . ان ارتفاع درجة حرارة الجسم فى الحمام ، لا يزيد على درجة مئوية واحدة ، اما فى الحمام التركى فانها ترتفع بمقدار درجتين مئويتين فقط .

ان جسم الانسان يقاوم كافة المؤثرات الحرارية للوسط المحيط به ، بنجاح ويحافظ على درجه حرارته الخاصة عند حد معيّن .

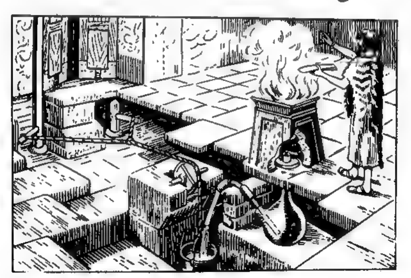
ولكن عند ارتفاع درجة حرارة الجسم بمقدار يتراوح بين ١ — ٢° مئوية ، تكون زيادة حجمه ضئيلة ، الى درجة لا يمكن ملاحظتها عند انتعال الحذاء .

ان معامل تمدد الاجزاء الصلبة واللينة لجسم الانسان ، لا يزيد على عدة اجزاء من عشرة آلاف جزء . وبالتالى ، فان زيادة عرض بطن القدم وسمك الساق ، يمكن ان تصل الى ٠,٠١ سم لا اكثر . فهل يعقل ان يكون الحذاء ، قد صنع فى قالب تصل دقته الى ٠,٠١ سم — ثخانة الشعرة ؟

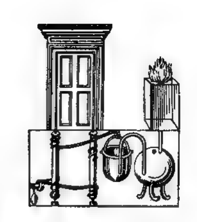
ولكن هذا ما يحدث فى الواقع بلا شك . اذ يصعب انتعال الحذاء بعد الاستحمام . وليس السبب هو التمدد الحرارى ، بل هناك عدة اسباب ، هى تدفق الدم وانتفاخ الجلد الخارجى ورطوبة سطح الجلد ، وغيرها من الاسباب ، التى ليست لها اية علاقة بالتمدد الحرارى .

ان العالم الميكانيكي والرياضي الاغريقي القديم هيرون الاسكندري ، مخترع النافورة المسماة باسمه ، ترك لنا وصفا لطريقتين حاذقتين ، استطاع بواسطتهما الكهنة المصريّون ، ان يخدعوا الشعب ويجعلونه يؤمن بالمعجزات . ويظهر في الشكل ٧٤ ، محراب (مذبح) معدني مجوف ، وقد اخفيت تحته في باطن الارض ، آلية تحرك ابواب المعبد . وقد اقيم المحراب امام المعبد . وعندما تشعل النار ، يسخن الهواء الموجود داخل المحراب ، حيث يضغط بقوة على الماء الموجود في اناء مخفي تحت الارض . فيندفع الماء من الاناء الى الانبوبة ، ومنها ينسكب في السطل ، الذي يهبط ، ويدير بهبوطه ، الآلية التي تحرك الابواب (شكل ٧٥) .

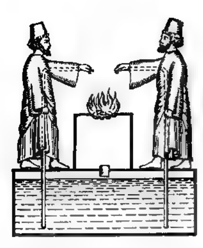
اما الجمهور المشدوه ، الذي لا يعلم ايّ شيء عن الآلية المخفية تحت الارض ، فيؤمن بالمعجزة التي تحدث امامه : حالما تبدأ النار بالاشتعال فوق المحراب ، فان ابواب المعبد تفتح على مصاريعها من تلقاء نفسها « بفضل دعاء الكاهن » .



شكل ٧٤ : فضح « معجزة » الكهنة المصريين القدماء : ان ابواب المعبد تفتح بتأثير نار المذبح .



شكل ٧٥ : رسم تخطيطى يبين تركيب ابواب المعبد ، التى تنفتح ذاتيا ، عندما تشعل النار فوق المذبح (انظر الشكل ٧٤) .

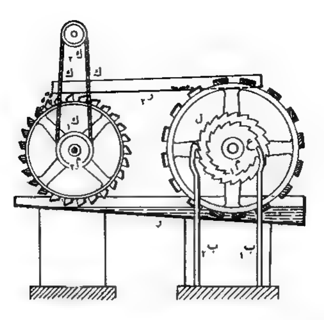


شكل ٧٦ : معجزة اخرى مزعومة من معجزات الكهنة القدماء : ان الزيت ينصب ذاتيا فى نار المذبح .

ويبيّن الشكل ٧٦ ، معجزة اخرى مزعومة ، يقوم بها الكهنة . عندما تبدأ النار بالاشتعال فوق المحراب ، يتمدد الهواء ويضغط على الزيت الموجود فى الخزان السفلى ، فيدفعه الى انابيب مخفية فى جبّة الكاهن . عندئذ تحدث المعجزة ، وينسكب الزيت من نفسه ، فى النار . . واذا اريد ايقاف تدفق الزيت ، يقوم الكاهن المسئول عن ادارة ذلك المحراب ، برفع السدّادة عن غطاء الخزان بصورة سريّة (يتوقف تدفق الزيت لان الهواء الفائض يخرج من خلال الفتحة) ، وكان الكهنة يلجأون الى هذه الخدعة ، كلما شحّت هدايا المصلّين .

ساعة لا تحتاج الى تدوير

لقد وضحنا سابقا (صفحة ١٢٦) ساعة تعمل بلا تدوير – او بالاحرى بلا تدوير خاص – وكانت مصممة للعمل على اساس تغيّرات الضغط الجوى .



شكل ٧٧ : ساعة ذاتية الملء .

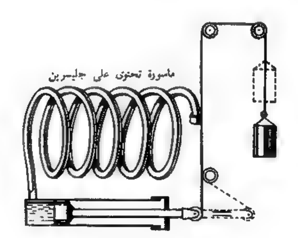
والآن نقدم وصفا لساعة مماثلة ، ذاتية الملء ، مصممة للعمل على اساس التمدد الحرارى . ان آلية هذه الساعة مبينة في الشكل ٧٧ . ويتكون قسمها الرئيسى من القضيبين ب$_1$ و ب$_2$ ، المصنوعين من سبيكة معدنية خاصة ، لها معامل تمدد كبير . والقضيب ب$_1$ مثبت في اسنان العجلة ع ، بحيث تدور العجلة المسننة قليلا ، عندما يتمدد ذلك القضيب بتأثير الحرارة . اما القضيب ب$_2$ ، فهو معشق باسنان العجلة ل . وعندما يتقلص بتأثير البرد ، يدير العجلة بنفس الاتجاه . وقد ركزت كلتا العجلتين ، على العمود م$_1$ ، الذى يعمل بدورانه على ادارة العجلة الكبيرة ذات المغارف . وتجرف المغارف الزئبق المصبوب فى المجرى السفلى ، وتحوله الى المجرى العلوى ، ومنه ينسكب على العجلة اليسرى التى تحتوى على مغارف ايضا . وبامتلاء المغارف بالزئبق ، تبدأ العجلة بالدوران ، وبذلك تتحرك السلسلة ك ك ، الملفوفة حول العجلة ك$_1$ (المرتكزة

على عمود مشترك م$_{٢}$ ، مع العجلة الكبيرة) ، وتقوم العجلة الاخيرة ك$_{٢}$ ببرم نابض تشغيل الساعة .

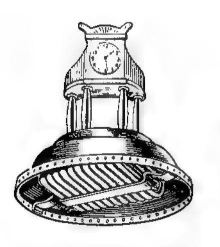
ماذا يحدث اذن للزئبق ، المنسكب من مغارف العجلة اليسرى ؟ انه يسيل خلال المجرى المائل ر$_{١}$ ، ويذهب مرة اخرى الى العجلة اليمنى ، ليبدأ من هناك حركته الانتقالية من جديد .

ان الآلية كما نرى ، يجب ان تتحرك بلا توقف ، ما زال القضيبان ب$_{١}$ وب$_{٢}$ مستمرين فى تمددهما وتقلصهما . وبالتالى . فلتشغيل الساعة ، يجب فقط ان تكون درجة حرارة الجو فى حالة تغيّر ، اما ان ترتفع او تنخفض .

ولكن هذا الشيء بالذات ، يحدث تلقائيا دون ان نهتم بامره : ان كل تغيّر فى درجة حرارة الهواء المحيط ، يؤدى الى تمدد او تقلص القضيبين ، ونتيجة لذلك ، يبرم نابض الساعة ببطء ، ولكن بصورة مستمرة .



شكل ٧٨ : رسم تخطيطى لساعة ذاتية الملء من نوع آخر .



شكل ٧٩ : ساعة ذاتية الملء . ان ماسورة الجليسرين مخفية تحت قاعدة الساعة .

هل يمكن تسمية هذه الساعة ، بمحرك « دائم الحركة » ؟ طبعا ، لا يمكن ذلك . ان الساعة ستشتغل لمدة طويلة غير محدودة ، الى ان تبلى آليّتها . ولكن مصدر طاقتها هو حرارة الهواء المحيط ، وتخزن هذه الساعة ، الشغل الناتج عن التمدد الحرارى ، على دفعات صغيرة ، لكى تصرفه باستمرار على حركة عقاربها . وهذا هو محرك « الطاقة الممنوحة » ، وذلك لانه لا يتطلب اية عناية او مصاريف لاستمراره فى العمل . ولكنه لا يولّد طاقة من العدم ، اذ ان المصدر الاول لطاقته هو حرارة الشمس التى تسخّن الارض .

ويوضح الشكلان ٧٨ و ٧٩ ، نموذجا آخر للساعة الذاتية الملء ، مشابها للنموذج السابق ، من حيث التركيب . وفى هذا النموذج ، يكون القسم الرئيسى هو الجليسرين ، الذى يتمدد بارتفاع درجة حرارة الهواء ، ويرفع عند ذلك ثقلا معينا . وعندما يهبط الثقل ، يحرك بدوره آلية الساعة . وبما ان الجليسرين لا يتجمد الا عندما تنخفض درجة الحرارة الى – ٣٠° مئوية ، ولا يغلى الا عندما تصل درجة الحرارة الى ٢٩٠° مئوية ، اذن تكون هذه الآلية ملائمة للساعات ، التى تعلق فى الميادين العامة بالمدن وفى بقية المحلات المكشوفة . ان تغيّر درجة الحرارة بمقدار ٢° مئوية ، يكفى لتحريك مثل هذه الساعات .

ولقد تم اختبار نموذج منها ، خلال عام كامل ، واثبت قدرته على العمل ، مع العلم بانه لم يقترب احد من الآلية طوال ذلك العام باكمله .

هل يكون من الملائم صنع محركات اضخم ، بناء على نفس المبدأ السابق ؟ يبدو للوهلة الاولى ، ان محرك « الطاقة الممنوحة » هذا ، وما شابهه ، يجب ان يكون اقتصاديا للغاية . ولكن الحساب يعطينا نتيجة تختلف عن ذلك تماما . لتشغيل ساعة عادية لمدة يوم كامل، نحتاج الى طاقة تقدر بـ $\frac{١}{٧}$ كجم تقريبا . وهذا يعنى اننا نحتاج فى الثانية الواحدة الى $\frac{١}{٦٠٠٠٠٠}$ كجم تقريبا ، وبما ان القدرة الحصانية تساوى ٧٥ كجم.م فى الثانية ، فان قدرة الآلية الواحدة للساعة ، تبلغ $\frac{\quad}{٤٥٠٠٠٠٠٠}$ من

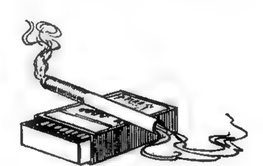
القدرة الحصانية فقط . وهذا يعني انه اذا قدّرنا قيمة القضبان المتمددة للساعة الاولى ، او اجهزة الساعة الثانية ، ولو بقرش واحد ، فان التكاليف الكلية للقدرة الحصانية الواحدة لمثل هذا المحرك ، تبلغ :

$$١ \times \frac{٤٥٠٠٠٠٠٠}{١٠٠} = ٤٥٠٠٠٠ \text{ جنيه}$$

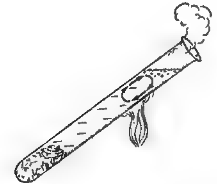
اى ما يقارب النصف مليون جنيه لكل قدرة حصانية واحدة ، وهو مبلغ كبير بالنسبة لمحرك « الطاقة الممنوحة » . . .

السيجارة المستخدمة لاغراض التعليم

وضعت سيجارة على علبة ثقاب (شكل ٨٠) ، وكانت تدخن من كلا طرفيها . ولكن الدخان الخارج من مبسم السيجارة ، يهبط الى الاسفل ، بينما يتلوى صاعداً الى الاعلى من الطرف الثانى . ما هو السبب ؟ اليس نفس الدخان بالذات هو الذى يخرج من كلا الطرفين ؟!



شكل ٨٠ : لماذا يصعد الدخان من احد طرفى السيجارة الى الاعلى ، ويهبط الى الاسفل من الطرف الثانى ؟



شكل ٨١ : ان الماء الموجود فى القسم العلوى من الانبوبة يبدأ بالغليان بينما لا يذوب الجليد الموجود فى الاسفل .

نعم ، ان الدخان هو نفس الدخان ، ولكن يوجد فوق طرف السيجارة المحترق ، تيار صاعد من الهواء الدافئ ، الذى يرفع معه دقائق الدخان . اما الهواء الذى يعبر مع الدخان خلال مبسم السيجارة ، فيجد متسعا من الوقت ليبرد ، ولا يرتفع الى الاعلى . وبما ان دقائق الدخان تكون بالذات اثقل من الهواء ، لذا فانها تهبط الى الاسفل .

الجليد الذى لا يذوب فى الماء المغلى

نأخذ انبوبة اختبار ونملؤها بالماء ، ثم نغمر فيها قطعة من الجليد ، ولكى لا تطفو القطعة فوق الماء (الجليد اخف من الماء) ، نثقلها بقطعة من الرصاص او النحاس وغير ذلك . ولكن يجب عند ذلك ان يصل الماء الى قطعة الجليد بحرية . والآن نقرب انبوبة الاختبار من مصباح كحولى ، بحيث يلامس لهبه القسم العلوى لانبوبة الاختبار فقط (شكل ٨١) .

يبدأ الماء بالغليان فى الحال ، وتخرج من الانبوبة سحب من البخار . ونلاحظ هنا شيئا غريبا ، هو عدم ذوبان الجليد الموجود فى اسفل الانبوبة . اليس ذلك اعجوبة صغيرة ؟ جليد لا يذوب فى الماء المغلى !

ان حل اللغز يتلخص فى ان الماء الموجود فى اسفل الانبوبة لا يغلى مطلقا ، بل يبقى باردا ، ويغلى الماء الموجود فى اعلى الانبوبة فقط .

ان ما لدينا هنا ، هو « جليد تحت الماء المغلى » وليس « جليد فى الماء المغلى » . وعندما يتمدد الماء بتأثير الحرارة ، يصبح خفيفا ولا يهبط الى الاسفل ، بل يبقى فى اعلى الانبوبة . كما ان تيارات الماء الحار وانزياح طبقاته ، تحدث فى القسم العلوى من الانبوبة فقط ، ولا تمتد الى الطبقات السفلى ، الاكثر كثافة . ويمكن انتقال الحرارة الى الاسفل عن طريق الموصلية الحرارية فقط ، ولكن الموصلية الحرارية للماء قليلة للغاية .

فوق الجليد ام تحته ؟

اذا اردنا تسخين الماء ، فاننا نضع اناء الماء فوق اللهب ، وليس الى جانبه . ونفعل ذلك بصورة صحيحة تماما ، لان الهواء المسخّن باللهب يصبح اخف مما هو عليه ، فيتحرك من كافة الجهات متجها الى الاعلى للاحاطة باناء الماء .

اذن ، بوضع الجسم المراد تسخينه فوق اللهب ، نكون قد استفدنا من حرارة المصدر على احسن وجه .

ولكن كيف نتصرف ، اذا اردنا ان نفعل العكس ، ونبرد جسم ما بواسطة الجليد ؟ اعتاد كثير من الناس على وضع الجسم فوق الجليد — مثلا ، يضعون اناء الحليب على سطح الجليد . وليس في ذلك ما يلائم الغرض . اذ ان الهواء الموجود فوق الثلج يبرد ويهبط الى الاسفل ، ليحل محله الهواء الدافئ المحيط به . ونتوصل من ذلك الى النتيجة العملية التالية : اذا اردنا تبريد الشراب او الطعام ، فعلينا ان نضعه تحت الجليد لا فوقه .

لنشرح ذلك بالتفصيل . اذا وضعنا اناء الماء على الجليد ، فستبرد الطبقة السفلى للسائل فقط ، اما بقية طبقات السائل فستحاط بالهواء الدافىء . فمثلا ، اذا وضعنا قطعة من الجليد على سطح غطاء الاناء ، فان السائل الموجود في داخله سيبرد بصورة اسرع . وسوف تهبط طبقات السائل المبردة الى الاسفل لتحل محلها طبقات السائل الدافئة القادمة من الاعلى ، الى ان يبرد كل السائل الموجود في الاناء (ان الماء النقي لا يبرد عند ذلك الى درجة الصفر المئوي ، بل الى ٤° مئوية فقط ، حيث تصل كثافته الى اقصى حد . وليس هناك في الحقيقة ، من يبرد الشراب الى درجة الصفر) . ومن ناحية اخرى ، فان الهواء المبرد المحيط بالجليد ، سيهبط ايضا الى الاسفل ليحيط بالاناء .

تيار هواء من نافذة مقفلة

كثيرا ما تهب تيارات الهواء من نافذة مقفلة باحكام ، وخالية من اية شقوق . الا يبدو ان هذا الامر غريب ؟ ولكن بهذه المناسبة ، ليس هناك ما يدعو الى الاستغراب .

ان هواء الغرفة لا يعرف السكون مطلقا ، اذ تحدث فيه تيارات خفية ، ناتجة عن سخونة وبرودة الهواء . فبتأثير الحرارة يتخلخل الهواء ، ويصبح بالتالى اخف مما هو عليه ، ويحدث العكس عندما يبرد الهواء ، اذ تزداد كثافته فيصبح اثقل مما هو عليه . ان الهواء الخفيف ، الذى تمت تدفئته بواسطة اجهزة التدفئة المركزية الموجودة فى الغرف ، او بواسطة المواقد ، يطرد الى الاعلى نحو السقف ، بواسطة الهواء البارد . اما الهواء البارد الثقيل ، الموجود قرب النوافذ والجدران الباردة ، فيندفع الى الاسفل نحو ارض الغرفة .

ويمكن اكتشاف تيارات الهواء في الغرفة بسهولة ، وذلك بواسطة البالون الهوائى الذى يلهو به الاطفال ، حيث يعلق فيه ثقل بسيط ليمنعه من الالتصاق بالسقف ويجعله يحوم في جو الغرفة بحرية . واذا طيرنا هذا البالون بالقرب من الموقد الدافئ ، سنرى انه يحوم فى جو الغرفة متأثرا بتيارات الهواء الخفية : ينطلق من ناحية الموقد تحت السقف ، الى النافذة ، ومنها يهبط الى ارض الغرفة ، ثم يعود الى الموقد لكى يستأنف تحليقه فى جو الغرفة .

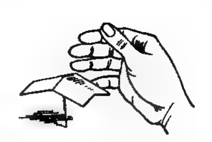
ولهذا نشعر فى الشتاء بتيارات الهواء الآتية من النافذة ، وخاصة عند اقدامنا ، بالرغم من اقفال النافذة باحكام ، الامر الذى لا يدع مجالا لمرور الهواء الخارجى من الشقوق .

الدوامة الورقية الغامضة

نأخذ ورقة سجائر رقيقة ، ونقّص منها قطعة على شكل مستطيل . نطوى المستطيل مرتين من منتصفه ، ثم نعيده الى وضعه السابق ؛ فنكون بذلك قد عينا مركز ثقله . نضع المستطيل فوق ابرة حادة ، بحيث يقع رأس الابرة فى مركز الثقل تماما .

وتصبح الورقة المستطيلة فى حالة توازن ، لأنها مستندة من مركز ثقلها . ولكنها تأخذ فى الدوران ، عند تعرضها لابسط نفخة هادئة .

لم نجد لحد الآن ، اى غموض فى المسألة ! لنقرب يدنا من الورقة ، كما هو مبين فى الشكل ٨٢ ، وليكن ذلك بحذر ، لئلا يؤدى تيار الهواء الى آزاحة الورقة عن مكانها . وعندئذ ستلاحظ امرا عجيبا : تبدأ الورقة بالدوران ، ويكون دورانها بطيئا فى بادئ الامر ، ثم تزداد سرعتها بالتدريج. واذا ابعدنا اليد عن الورقة، فاننا نرى بان الدوران يتوقف ، اما اذا قربناها مرة اخرى ، فسوف تبدأ الورقة بالدوران من جديد .


شكل ٨٢ : لماذا تدور الورقة ؟

ان هذا الدوران الغامض ، جعل الناس فى احد الاوقات — فى سبعينيات القرن الماضي — يفكرون بان لجسم الانسان ، بعض الخواص الخارقة الطبيعة . وقد وجد العلماء الروحانيون فى هذه التجربة ، تأكيدا لتعاليمهم المبهمة حول القوة الخفية الصادرة عن جسم الانسان . بينما السبب طبيعى جدا وبسيط ، وهو ان الهواء الساخن الموجود فى اسفل اليد ، يرتفع الى الاعلى ، وعند اصطدامه بالورقة يجعلها تدور . كالحلزون الورقي المعلق فوق المصباح ، وذلك لاننا عندما طوينا الورقة ، اصبحت اقسامها مائلة بعض الشيء .

وقد يلاحظ المراقب الدقيق ، بان الدوامة الورقية المذكورة تدور فى اتجاه معين — ابتداء من رسغ اليد وبمحاذاة الكف ، نحو الاصابع . ويفسر ذلك باختلاف درجة حرارة اقسام اليد المذكورة ، حيث ان اطراف الاصابع تكون دائما ابرد من الكف ، ولذلك يتكون قرب الكف تيار هوائى صاعد اكثر قوة ، يصدم الورقة بصورة اقوى مما يصدمها تيار الهواء الناتج عن حرارة الاصابع * .

* يمكن كذلك ان نلاحظ ، انه عندما يكون الشخص محموما او بصورة عامة عند ارتفاع درجة حرارته ، تدور الدوامة الورقية بسرعة اكبر كثيرا . ان هذه الدوامة الورقية ، التى ادهشت الكثيرين فى وقت ما ، كانت آنذاك موضوعا لبحث صغير قدمه ن . نيتشايف الى جمعية الطب فى موسكو ، وعنوانه « دوران الاجسام الخفيفة بتأثير حرارة اليد » .

ماذا تكون اجابتكم اذا قيل لكم بان معطف الفرو لا يدفئ مطلقا ؟ لعلكم ستفكرون بان محدثكم يمزح معكم . ولكن ماذا لو بدأ محدثكم باثبات كلامه بعدد من التجارب ؟ لنبدأ مثلا ، بالتجربة التالية :

نأخذ محرارا ونسجل درجة الحرارة التي يعطيها ، ثم ندثره بمعطف الفرو ، ونعود اليه بعد عدة ساعات . وعندما نقرأ درجة الحرارة بعد ذلك ، سنكون على يقين من عدم ارتفاعها ولو بمقدار ربع درجة ، اذ ستبقى درجة الحرارة على ما كانت عليه سابقا دون تغيير . وهذا دليل على ان معطف الفرو لا يدفئ . وكان الشك سيساوركم ، لو قيل لكم بان معطف الفرو يبرّد ! نأخذ كيسين فيهما جليد ، وندثر احدهما بمعطف فرو ، ونترك الآخر مفتوحا في الغرفة . وعندما يذوب الجليد الموجود في الكيس الثاني ، نرفع معطف الفرو عن الكيس الاول ، فنرى ان الجليد الذي في داخله لم يبدأ بالذوبان بعد . وهذا يعني ان معطف الفرو لم يدفئ الجليد قط ، بل حتى كما يظهر ، عمل على تبريده فجعله يتأخر في الذوبان . ماذا يمكننا القول هنا ؟ وكيف ندحض هذه البراهين ؟

اننا لا نستطيع ان نفعل ذلك ، لان معطف الفرو لا يدفئ في الواقع ، اذا قصدنا بكلمة « يدفئ » — يعطي حرارة .

ان المصباح والموقد وجسم الانسان ، كلها تدفئ ، لانها تعتبر مصادر للحرارة . ولكن معطف الفرو ، بالمعنى المذكور للكلمة ، لا يدفئ مطلقا . فمعطف الفرو لا يعطي حرارته للجسم ، ولكنه يحول دون تسرب حرارة الجسم الى الخارج . ولهذا السبب ، فان الحيوانات ذات الدم الحار ، التي تكون اجسامها بالذات مصدرا للحرارة ، تشعر بالدفء عندما تغطى بالفرو ، اكثر مما تشعر به ، عندما تكون بدون فرو . ولكن المحرار لا يولد حرارة ذاتية ، ولا تتغير درجة حرارته ، عندما ندثره بمعطف الفرو . اما الجليد المدثر بمعطف الفرو ، فيحافظ على درجة حرارته المنخفضة لمدة

اطول ، وذلك لان معطف الفرو — موصل ردئ جدا للحرارة — يعرقل وصول الحرارة الى الجليد من الخارج ، اى من هواء الغرفة .

والثلج يشبه معطف الفرو من هذه الناحية ، فهو يدفئ الارض ، لانه كبقية المساحيق الاخرى ، موصل ردئ للحرارة ، وبذلك يعرقل تسرب الحرارة من الارض المغطاة به . وفي الارض المغطاة بطبقة واقية من الثلج ، يشير المحرار في كثير من الاحيان ، الى درجة حرارة ، تزيد بعشر درجات على درجة حرارة الارض غير المغطاة بالثلج .

وهكذا ، فاذا سئلنا هل يدفئ معطف الفرو اجسامنا ام لا ، فمن الضروري الاجابة على ذلك بقولنا : ان معطف الفرو يساعدنا فقط على تدفئة اجسامنا بانفسنا . وكان من الاصح ان نقول بان اجسامنا هي التي تدفئ معطف الفرو ، وليس المعطف هو الذي يدفئ اجسامنا .

فصول السنة في باطن الارض

اذا كان الفصل على سطح الارض الآن هو الصيف ، فأى فصل يكون الآن تحت سطح الارض ، مثلا على عمق ثلاثة امتار ؟ يخطئ القارئ اذا فكر بان الفصل هناك هو الصيف ايضا ! ان فصول السنة على سطح الارض ، تختلف عما هي عليه في تربة باطن الارض . ان التربة موصّل ردئ جدا للحرارة . وفي مدينة لينينغراد ، لا يتجمد الماء في مواسير المياه الرئيسية ، الواقعة على عمق مترين ، حتى في اقسى ايام الشتاء بردا .

ان تغيّرات درجة الحرارة ، التي تحدث على سطح الارض ، تنتقل الى باطنها بصورة بطيئة جدا ، وتصل الى مختلف طبقاتها في وقت متأخر كثيرا . وقد اثبتت القياسات المباشرة ، مثلا في مدينة سلوتسك (من ضواحي لينينغراد) ، ان

احر فترة تحلّ خلال السنة ، على عمق ثلاثة امتار ، تتأخر لمدة ٧٦ يوما ، وابرد فترة تتأخر لمدة ١٠٨ ايام . وهذا يعني ، انه اذا فرضنا ان احر يوم على سطح الارض ، هو يوم ٢٥ سبتمبر (ايلول) ، فانه يحلّ على عمق ثلاثة امتار ، بتاريخ ٩ اكتوبر (تشرين الاول) فقط ! واذا فرضنا ان ابرد يوم على سطح الارض ، هو يوم ١٥ يناير (كانون الثاني) ، فانه يحلّ على ذلك العمق المذكور ، في شهر مايو (ايار) ! وبالنسبة لطبقات الارض التي يزيد عمقها على ما ذكرناه ، يكون التأخير اكثر بكثير .

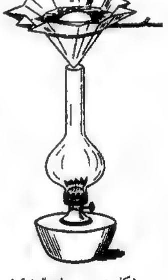
وكلما تعمقنا في التربة ، فان التغيّرات في درجة الحرارة ، لا تتأخر فحسب ، بل تضعف كذلك ، وعلى عمق معيّن تتلاشى تماما : على مدار السنة ، وخلال قرن كامل ، تبقى درجة الحرارة هناك ثابتة على الدوام ، وخصوصا يثبت المتوسط السنوي لدرجة حرارة ذلك المكان .

وفي اقبية مرصد باريس ، على عمق ٢٨ م ، يوجد محرار ، كان قد حفظ هناك منذ ١٥٠ عاما ، من قبل العالم الفرنسي لافوازيه ، وقد حافظ المحرار خلال تلك المدة باكملها ، على درجة حرارة ثابتة هي + ١١,٧° مئوية .

وهكذا ، ففي داخل الارض التي نطأها باقدامنا ، تختلف فصول السنة اختلافا تاما ، عما هي عليه فوق سطح الارض . وعندما يحل الشتاء فوق الارض ، يكون الفصل على عمق ٣ م ، خريفا . وفي الحقيقة ، لا يكون هذا الخريف كما عرفناه سابقا على سطح الارض ، بل يكون اكثر اعتدالا في انخفاض درجة الحرارة . وعندما يحل الصيف فوق سطح الارض ، تصل الى باطنها اصداء ضعيفة لبرد الشتاء . ومن الضروري ان نأخذ هذا الامر بنظر الاعتبار ، كلما تطرقنا في حديثنا الى ظروف حياة الحيوانات التي تعيش في باطن الارض (مثل يرقات الخنافس والصراصر) ، وجذور النباتات . وليس من العجب ، مثلا ، ان خلايا جذور الاشجار ، تتكاثر بصورة خاصة في الشتاء ، وان وظائف (فعاليات) النسيج المسمى بالكمبيوم ، تتجمد خلال فصل الصيف باكمله تقريبا ، على العكس من النسيج الموجود في جذع الشجرة فوق الارض .

قدر من الورق

يبين الشكل ٨٣ ، بيضة تسلق فى ماء موضوع فى قدح من الورق ! الا يعتقد القارئ بان الورقة ستحترق الآن ، وينسكب الماء على المصباح ؟ هيا الآن لنجرب ذلك بانفسنا . نأخذ قطعة سميكة من ورق بارشمان * ونثبتها جيّداً بسلك ، ثم نصب فيها الماء ونضع البيضة فى داخلها . وعند تعريض الورقة لشعلة المصباح ، نرى انها لا تتأثر بذلك مطلقا . ان السبب هو ان الماء يمكن ان يسخن فى اناء مكشوف ، الى درجة حرارة لا تزيد على ١٠٠° مئوية ؛ لذا ، فان الماء المسخّن ، الذى له بالاضافة الى ذلك ، سعة حرارية كبيرة ، يمتص الحرارة الفائضة للورقة ، ولا يجعلها تسخن الى درجة حرارة ، تزيد عن ١٠٠° مئوية ، اى الى درجة الحرارة اللازمة لاحتراقها والتهابها . (من الافضل عمليا استخدام صندوق ورقى صغير ، مثل الصندوق المبين فى الشكل ٨٤) . ان الورقة سوف لا تحترق ، حتى عندما تحاط باللهب .



شكل ٨٣ : سلق البيضة فى قدر من الورق .

شكل ٨٤ : صندوق صغير من الورق لغلى الماء .

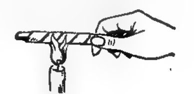
* وهو ورق معالج بحامض الكبريتيك ، ويستعمل لتغليف المأكولات .

9 Зак. 15662

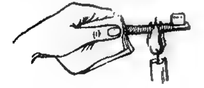
وتنتمى الى نفس النوع من الظواهر ، تلك التجربة المؤسفة التى يمر بها بعض الناس الذين تشرد افكارهم ، فيوقدون النار فى السماوار صدفة . عندما يكون خاليا من الماء . فينفك بذلك لحامه وينهار . والسبب هنا معروف ، وهو ان سبيكة اللحام سهلة الانصهار ، والتصاقها المحكم بالماء ، هو الامر الوحيد الذى يقيها من خطر ارتفاع درجة الحرارة . ويمنع كذلك تسخين القدور الملحومة ، اذا كانت خالية من الماء وقد عمل تسخن الماء على حماية سبطانة رشاش «مكسيم» القديم ، من الانصهار .

ويمكننا كذلك ان نصهر ختما رصاصيا ، فى صندوق مصنوع من ورق اللعب ، وذلك بتسليط اللهب بصورة خاصة على موضع الورقة ، الذى يتصل مباشرة بالختم الرصاصى : ان الرصاص بصفته موصلا جيدا للحرارة نوعا ما ، يأخذ الحرارة من الورقة بسرعة ، ولا يجعلها تسخن الى درجة حرارة تزيد عن درجة حرارة الانصهار بشكل ملحوظ ، اى الى درجة ٣٣٥° مئوية (للرصاص) ؛ وهذه الدرجة من الحرارة ليست كافية لكى تجعل الورقة تلتهب .

ويمكن كذلك اجراء التجربة التالية (شكل ٨٥) : ناخذ مسمارا غليظا ، او قضيبا رفيعا من الحديد (والافضل ان يكون من النحاس) ، ونلف حوله باحكام ، شريطا رفيعا من الورق على شكل لولب . ثم نقرب القضيب مع شريط الورق ، من لهب النار . سيحيط اللهب بالورقة ويسخنها ، ولكنها لن تحترق الى ان يصبح القضيب حاميا . ان السرّ هنا ، يكمن فى موصليّة المعدن الجيدة ، اذ لا يمكننا



شكل ٨٥ : الورقة التى لا تشتعل



شكل ٨٦ : الخيط الذى لا يشتعل .

اجراء هذه التجربة بقضيب من الزجاج . ويبيّن الشكل ٨٦ ، تجربة مماثلة ، لخيط لا يحترق وهو ملفوف باحكام على احد المفاتيح .

لماذا يكون الجليد زلقا ؟

ان الانزلاق على ارضية الغرفة المصقولة ، اسهل من الانزلاق على الارضية العادية . ويظهر وكأن نفس الشيء يحدث بالنسبة للجليد ، اى يكون الانزلاق على الجليد الاملس ، اسهل مما هو عليه بالنسبة للجليد الوعر المغطى بالنتوءات .

ويعلم سكان المناطق الشمالية ان جر الزلاقات الصغيرة المحملة بالامتعة ، فوق سطح الجليد الوعر ، اسهل بكثير من جرها فوق سطح الجليد الاملس . ان الجليد الوعر اكثر زلقا من الجليد الاملس اللماع . وهذا يفسّر بان زلق الجليد لا يعتمد بالدرجة الاولى على النعومة ، ولكن على شيء خاص جدا ، هو ان درجة حرارة انصهار الجليد ، تنخفض عند زيادة الضغط .

ماذا يحدث عندما نتزلج على الجليد بالزلاقة او بالمزلج ؟ عند وقوفنا على الجليد بالمزلج ، تكون مساحة ارتكازنا صغيرة جدا ، لا تزيد على عدة مليمترات مربعة . ونضغط على هذه المساحة الصغيرة بثقل جسمنا كله . واذا تذكرنا ما قلناه عن الضغط (فى الفصل الثانى من الكتاب) ، لعلمنا ان الشخص المتزلج يضغط على الجليد بقوة كبيرة . وتحت تأثير الضغط الكبير ، يذوب الجليد عند درجة حرارة منخفضة . مثلا ، اذا كانت درجة حرارة الجليد — ٥° مئوية ، وعمل ضغط المزلج على خفض نقطة انصهار الجليد الذى يرتكز عليه المزلج ، باكثر من ٥° مئوية ، فان اقسام الجليد هذه سوف تذوب . فماذا يحدث اذن ؟ تتكون بين مزالق المزلج والجليد طبقة رقيقة من الماء ، تجعل المتزلّج يتزلق بسهولة . وحالما ينقل قدميه الى موضع آخر ، يحدث هناك نفس الشيء ايضا . وفى كل المواضع ، يتحول الجليد تحت اقدام المتزلج ، الى طبقة رقيقة من الماء . وبهذه الخواص ، يتميّز الجليد عن كافة الاجسام

الاخرى في الطبيعة . وقد اطلق احد الفيزيائيين السوفييت على الجليد اسم « الجسم الزلق الوحيد في الطبيعة » . اما بقية الاجسام ، فهي ملساء وليست زلقة .

ويمكننا الآن ان نعود الى سؤالنا : ايهما اكثر زلقا ، الجليد الاملس ام الجليد الوعر ؟ نحن نعلم ان الثقل الواحد ، يضغط بقوة اكبر ، كلما قلت المساحة التي يرتكز عليها . ففي اية حالة اذن ، يضغط الشخص بقوة اكبر ، على المساحة التي يقف عليها : هل عند وقوفه على الجليد الاملس اللماع ام على الجليد الوعر ؟ من الواضح ان الشخص يضغط بقوة اكبر عند وقوفه على الجليد الوعر ، لانه في هذه الحالة يكون مرتكزا على بعض نتوءات وتحدبات سطح الجليد الوعر . وكلما زاد الضغط على الجليد ، زاد معه الانصهار ، وبالتالي يصبح الجليد اكثر زلقا (اذا كانت المزلقة عريضة الى حد كاف . اما بالنسبة للمزلقة الضيقة ، المنغرزة في النتوءات ، فلا ينطبق عليها ذلك — لان طاقة الحركة ، تصرف هنا في عملية قص النتوءات) .

ان انخفاض نقطة انصهار الجليد ، تحت تأثير الضغط الكبير ، يفسر كذلك عدة ظواهر اخرى في الحياة اليومية . وبفضل هذه الخاصية ، تتجمد قطع الجليد المنفصلة ، مع بعضها البعض ، اذا ضغطت بقوة . ان الصبي الصغير عندما يلهو بقذف كرات الثلج ، فانه بدون وعي ، يستخدم هذه الخاصية حينما يضغط بيديه ندف الثلج ، التي تتجمد بتأثير الضغط القوي ، المؤدي الى انخفاض درجة حرارة انصهارها . ان الاطفال في المناطق الشمالية من الكرة الارضية ، عندما يكومون كتل الثلج ليصنعوا منها دمية على هيئة امرأة ، فانهم بذلك يستخدمون ايضا تلك الخاصية المذكورة للجليد : ان ندف الثلج ، في اماكن تلاصقها ، في القسم السفلي للكتلة الثلجية ، تتجمد تحت وطأة الكتل التي تضغط عليها من الاعلى . ان الثلج على الارصفة يتكثف ويتحول تدريجيا الى جليد ، وذلك تحت ضغط اقدام العابرين ، اذ تتجمد كتل الثلج وتتحول الى طبقة جليدية صلبة .

وقد اثبت الحساب النظري ، انه لكي نخفض نقطة انصهار ذوبان الجليد بمقدار درجة واحدة فقط ، فاننا نحتاج الى ضغط كبير جدا ، يقدر بـ ١٣٠ كجم/سم٢ .

وهنا يجب الأخذ فى الاعتبار ، ان كلاً من الماء والجليد ، يقعان عند الانصهار تحت ضغط واحد . وفى الامثلة المذكورة هنا ، يتعرض الجليد وحده لضغط قوى . اما الماء الناتج عن الانصهار ، فيقع تحت تأثير الضغط الجوى ، وفى هذه الحالة ، يصبح تأثير الضغط على درجة حرارة انصهار الجليد ، اكبر بكثير .

مسألة حول الحبال الجليدية

يعرف سكان المناطق الشمالية الباردة ، كيف تتكون على حافات سطوح المنازل واغصان الاشجار ، حبال جليدية متدلية الى الاسفل ــ هوابط جليدية صغيرة . فى اى فصل من السنة تتكون الحبال الجليدية ، هل فى فصل ذوبان الثلوج ام فى فصل الشتاء ؟ اذا كان ذلك فى فصل ذوبان الثلوج ، فكيف يتجمد الماء فى درجة حرارة تزيد عن الصفر ؟ واذا كان ذلك فى الشتاء ، فمن اين يظهر الماء فوق السطح ؟ يتضح من ذلك ، ان المسألة ليست بسيطة كما يبدو لاول وهلة . ان الحبال الجليدية عند تكوّنها ، تحتاج الى درجتى حرارة مختلفتين فى وقت واحد : لاجل الذوبان ــ درجة حرارة فوق الصفر ، ولاجل الانجماد ــ درجة حرارة تحت الصفر

وهذا ما يحدث فى الواقع ، اذ يذوب الثلج الموجود على منحدر السطح ، لان اشعة الشمس تسخنه الى درجة حرارة اعلى من الصفر ، اما قطرات الماء الجارية عند حافة السطح ، فتتجمد لان درجة الحرارة هنا تقل عن الصفر . (وبالطبع فاننا لا نقصد هنا حالة تكوّن الحبال الجليدية ، بسبب الحرارة الناجمة عن الغرفة الدافئة تحت السطح) .

لنتصور احد ايام الشتاء الصحوة ، الذى تتراوح فيه درجة الحرارة بين ١ ــ ٢° مئوية . والشمس تبعث باشعتها الى الارض ، الا ان هذه الاشعة المائلة لا تسخن الارض الى درجة تجعل الثلج يذوب . اما على منحدر السطح المواجه للشمس ، فان الاشعة لا تسقط هناك بصورة مائلة ، كما تسقط على الارض ، ولكنها تسقط بزاوية

قريبة من الزاوية القائمة . ومن المعروف ان مقدار الاضاءة والتسخين بالاشعة ، يزداد بزيادة الزاوية التى تشكلها الاشعة مع السطح الذى تسقط عليه . (يتناسب تأثير الاشعة تناسبا طرديا مع جيب هذه الزاوية ، وبالنسبة للحالة المبينة فى الشكل ۸۷ ، تصل الى الثلج الموجود على السطح ، كمية من الحرارة تزيد بمرتين ونصف ، على كمية الحرارة التى تصل الى مساحة مساوية من الثلج ، على السطح الافقى لان جيب الزاوية ٦٠° اكبر من جيب الزاوية ٢٠° ، بمرتين ونصف) .

ولهذا السبب بالذات يكون السطح المائل اشد سخونة ، ويمكن ذوبان الثلج الموجود فوقه . ويسيل الماء الناتج عن ذوبان الجليد ، متدليا على هيئة قطرات ، من حافة السطح . ولكن درجة الحرارة تحت السطح ، تقل عن الصفر ، وبذلك فان القطرة ، التى تبرد ايضا بالتبخير ، تتجمد فى الحال . وتنزل قطرة ثانية فوق القطرة المتجمدة ، فتتجمد هى الاخرى ، وتليها قطرة ثالثة فتتجمد ايضا . . وهكذا الى ان يتكون تدريجيا حبل جليدى رفيع يتدلى الى الاسفل . وعند تكرار حالة الجو هذه مرات عديدة ، تصبح



شكل ۸۷ : ان اشعة الشمس تسخن السقف المائل ، اشد مما تسخن سطح الارض الافقى .

تلك الحبال الجليدية اطول مما كانت عليه ، وتتكون اخيرا حبال جليدية نامية ، تشبه الهوابط (الاعمدة الكلسية) المدلاة من سقوف الكهوف فى باطن الارض . وبهذا الشكل تنشأ الحبال الجليدية على سطوح العنابر (السقائف) ، وبصورة عامة على سطوح المبانى الخالية من التدفئة .

ان سقوط اشعة الشمس بزوايا مختلفة ، يؤدى ايضا الى حدوث ظواهر حيوية كبيرة . فاختلاف المناطق المناخية واختلاف فصول السنة ، يعود بدرجة كبيرة * الى تغيّر زاوية سقوط اشعة الشمس . ان الشمس تبعد عنا شتاء ، بنفس المسافة التى تبعد بها عنا صيفا ، فهى تقع على بعد واحد من كلٍّ من القطبين وخط الاستواء (ان الفرق فى المسافة ضئيل جدا ، بحيث يمكن اهماله تماما) . ولكن ميل اشعة الشمس مع سطح الارض عند خط الاستواء ، اكثر من ميلها عند القطبين ، وفى الصيف تكون هذه الزاوية اكبر مما هى عليه فى الشتاء . وهذا يؤدى الى اختلافات واضحة فى درجة الحرارة نهارا ، وبالتالى الى اختلافات فى الطبيعة برمتها .

---

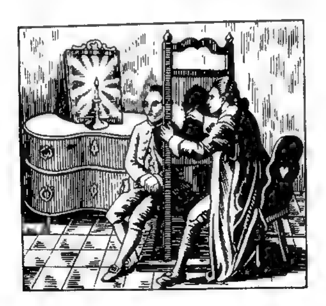
* ولكن ليس كليا ، لان هناك سببا مهما آخر ، يتلخص فى اختلاف طول النهار ، اى طول تلك الفترة ازمنية ، التى تسخن خلالها الشمس الارض . وبالمناسبة ، فان كلا السببين ، يرجعان الى حقيقة فلكية ، هى ميل محور الارض بالنسبة لمستوى دوران الارض حول الشمس .

الفصل السابع | الضوء

اللحاق بالظلال

اذا لم يكن اجدادنا يتمكنون من اللحاق بظلالهم ، فقد استطاعوا الاستفادة منها . اذ رسموا بمساعدة الظلال ما يسمى بـ « الخيال » — الصورة الظلية لجسم الانسان .

وفي الوقت الحاضر ، بامكان كل منا ان يصور نفسه او الناس المقربين اليه ، بواسطة آلات التصوير الفوتوغرافي . ولكن الناس في القرن الثامن عشر ، لم يكونوا سعداء

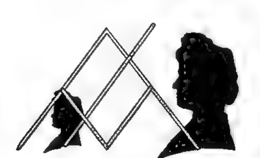


شكل ٨٨ : طريقة قديمة لرسم صور الخيال .

مثلا ، اذ كان الرسامون يتقاضون مبالغ طائلة لقاء القيام برسم صورة الشخص الراغب في ذلك ، وكان هذا الامر في متناول عدد قليل من الناس فقط . ولهذا السبب ، كانت الصور الظلية منتشرة في ذلك الوقت الى درجة معينة ، الى ان حل محلها التصوير الفوتوغرافي الحديث . ان الخيال ، هو عبارة عن ظل محصور ومثبت . ويرسم الخيال بصورة ميكانيكية ، وهو يعبّر من هذه الناحية ، عن الصورة المضيئة المقابلة له . ونحن نستخدم الضوء هنا . اما اجدادنا ، فقد استخدموا الظل لهذا الغرض بالذات .

ويبين الشكل ٨٨ ، كيف كانوا يرسمون الخيال . كان على الشخص الذي يريد الحصول على صورته الظلية ، ان يدير رأسه ، بحيث يعطي الظّل منظرا جانبيا مميزا لذلك الشخص ، فيقوم شخص آخر بتخطيط محيط الظل بالقلم . وبعد ذلك تلون المساحة المحصورة داخل المحيط بالحبر الصيني الاسود ، وتقصّ ثم تلصق على ورقة بيضاء ، وهكذا يصبح الخيال جاهزا . وكانوا يصغرون الخيال حسب رغبتهم ، بواسطة جهاز خاص يسمى بالبانتوغراف او المنساخ (شكل ٨٩) .

وقد يفكر القارئ بان هذا الرسم المحيطي البسيط ، لا يمكن ان يعطي فكرة عن الملامح المميّزة للاصل . ان الامر على العكس من ذلك ، لان الخيال الناجح ، يتميّز احيانا بتشابهه المدهش مع الاصل .



شكل ٨٩ : تصغير صورة الخيال .



شكل ٩٠ : صورة خيال الشاعر الالماني شيلر (١٧٩٠) .

وهذه الخاصيّة المميّزة للصور الظلية ــ التشابه مع الاصل عند بساطة الرسم المحيطي ــ جلبت انتباه بعض الرسامين ، الذين اصبحوا يرسمون على هذه الشاكلة ، مشاهد مسرحية ومناظر طبيعية كاملة . . وغير ذلك . وبفضل رسم الصور الظلية ، نشأت بالتدريج مدرسة مستقلة لاولئك الرسامين .

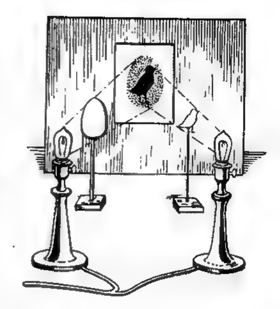
والشيء الطريف هنا ، هو ان الاسم اللاتيني لكلمة « خيال » وهو « silhouette » مأخوذ من اسم عائلة وزير مالية فرنسا في منتصف القرن الثامن عشر ، وهو (Etienne de Silhouette). وكان هذا الوزير قد دعا معاصريه الى الاقتصاد المعقول ، وعاتب النبلاء الفرنسيين ، على صرف المبالغ الطائلة بغية الحصول على اللوحات الفنية والصور الشخصية . وكان رخص الصور الظلية ، هو الدافع الذي جعل بعض الظرفاء في ذلك الوقت ، يطلقون عليها اسم ذلك الوزير .

الفرخ في داخل البيضة

يمكن الاستفادة من خواص الظلال ، لنعرض على الاصدقاء بعض الملاعيب المسلية الطريفة . نأخذ ورقة مدهنة ونجعل منها شاشة ، وذلك بلصقها فوق فراغ مربع الشكل ، محفور على قطعة من الورق المقوى ، ونضع خلف الشاشة مصباحين ، اما المشاهدون فسيجلسون اما الشاشة ، من الجهة المقابلة . نضيء احد المصباحين ، وليكن المصباح الايسر مثلا .

والآن نضع بين المصباح المضاء والشاشة ، قطعة بيضوية الشكل من الكارتون ، مثبتة على حامل سلكي . وعندئذ سيظهر على الشاشة بطبيعة الحال ، خيال البيضة (لا داعي الآن لاضاءة المصباح الثاني) . والآن اخبر الضيوف بان جهاز رونتجن (اشعة اكس) سيبدأ في العمل ، ويريهم الفرخ في داخل البيضة ! وبعد برهة قصيرة ، يشاهد الضيوف بالفعل ، خيال البيضة المتألق الاطراف ، وقد ظهر في وسطه خيال الفرخ ، بصورة واضحة للغاية (شكل ٩١) . ان حل هذا اللغز بسيط

جدا : اننا نضئ المصباح الايمن، الذى تعترض طريق اشعته قطعة من الكارتون مقصوصة على هيئة فرخ . ان جزء الظل البيضوى ، الذى يسقط عليه ظل الفرخ ، يكون مضاء بواسطة المصباح الايمن ، ولذلك تكون اطراف البيضة اكثر تألقا من قسمها الداخلى . اما المشاهدون الجالسون من الناحية الاخرى للشاشة، وهم لا يشكون فيما يعرض امامهم ، فقد يفكرون على الارجح ــ اذا لم يكن لهم اطلاع على الفيزياء او علم التشريح ــ بان البيضة بالفعل قد ادخلت فى جهاز رونتجن.



شكل ٩١ : صورة بأشعة رونتجن (إكس) المزيفة .

صور كاريكاتورية

ان كثيرا من القراء لا يعلم ان بالامكان صنع آلة التصوير ، دون استخدام اية علسة ، اذ يستعاض عنها بفتحة دائرية صغيرة . ولكن الصورة تكون عندئذ ، اقل وضوحا . وهناك نوع طريف من انواع آلات التصوير الخالية من العدسات ، يسمى بآلة التصوير « ذات الشقّين » ، اذ يوجد فيها بدل الفتحة الدائرية ، شقّان متصالبان . وتوجد فى مقدمة آلة التصوير شريحتان خشبيتان ، وقد حفر فى احداهما شق عمودى ، وفى الثانية شق افقى . فاذا قربنا الشريحتين من بعضهما تماما ، فسوف نحصل على صورة مماثلة للصورة التى نحصل عليها بواسطة آلة التصوير ذات الفتحة الدائرية . اى صورة حقيقية . ويختلف الامر تماما ، اذا ما ابعدنا الشريحتين عن بعضهما



شكل ٩٢ : صورة كاريكاتورية ممطوطة افقيا . (تم الحصول عليها بواسطة آلة التصوير ذات الشق)



شكل ٩٣ : صورة كاريكاتورية ممطوطة عموديا (تم الحصول عليها بواسطة آلة التصوير ذات الشق) .

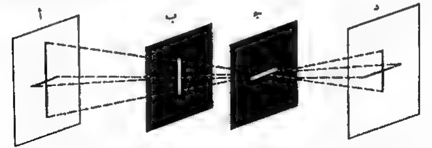
لمسافة قليلة (وتكون الشريحتان في وضع يسمح بتحريكهما قصدا) ؛ عندئذ تشوه الصورة بشكل مضحك ، كما هو مبين في الشكلين ٩٢ و٩٣ . ويكون من الاصح ان نسميها صورة كاريكاتورية ، وليس صورة فوتوغرافية .

بماذا يفسر هذا التشوه ؟

لندرس الحالة التي يكون فيها الشق الافقي امام الشق العمودي (شكل ٩٤) . ان الاشعة المنبعثة عن الخطوط العمودية للجسم د (الصليب) ، تمر من خلال الشق الاول جـ ، مثلما تمر من خلال اية فتحة اخرى بسيطة ، ولا يؤثر الشق الخلفي على مرور هذه الاشعة مطلقا . ونتيجة لذلك ، فان صورة الخط العمودي تظهر على لوح الزجاج المسنفر أ ، بمقياس يتناسب مع المسافة الفاصلة بين اللوح الزجاجي أ وبين الشريحة جـ ؛

اما صورة الخط الافقي التي تظهر على اللوح الزجاجي والتي تكون لها نفس الوضعية السابقة للشقين ، فتختلف عن ذلك تماما . ان الاشعة تعبر من خلال الشق الاول (الافقي) بدون اية عقبة ، ولا تتقاطع الا عندما تصل الى الشق العمودي ب ، وتعبر من خلاله مثلما تعبر من خلال فتحة ما ، لتشكل على اللوح الزجاجي أ صورة بمقياس يتناسب مع المسافة الفاصلة بين اللوح الزجاجي أ وبين الشريحة الثانية ب .

وباختصار ، فعند الوضعية المذكورة للشقين ، لا يهم الخطوط العمودية سوى الشق الامامي جـ ؛ وعلى العكس من ذلك ، لا يهم الخطوط الافقية سوى الشق الخلفي



شكل ٩٤ : سبب تشوه الصور الملتقطة بآلة التصوير ذات الشق .

ب . ولما كان الشق الامامى جـ ، اكثر بعدا عن اللوح الزجاجى أ ، من الشق الخلفى ب ، فان كافة الابعاد العمودية تكون ممثلة على اللوح الزجاجى أ بمقياس اكبر من مقياس الابعاد الافقية . وبعبارة اخرى ، تظهر الصورة وكأنها ممطوطة عموديا (شكل ٩٣) .

وعلى العكس من ذلك ، فعند قلب وضعية الشقين ، تظهر الصورة وكأنها ممطوطة افقيا (شكل ٩٢) .

ومن الواضح انه عند وضع الشقين بصورة مائلة ، سنحصل طبقا لذلك ، على صورة مشوهة من نوع آخر .

ولا تستخدم آلة التصوير هذه لغرض الحصول على صور كاريكاتورية فقط ، بل وتستخدم ايضا لاغراض عملية اكثر اهمية . فمثلا ، تستخدم لاعداد اوجه متنوعة للزخرفة المعمارية ، وزخرفة السجاجيد وورق الجدران وغير ذلك ، وبصورة عامة ، للحصول على نقوش وزخارف ، ممطوطة او مضغوطة فى اتجاه معيّن وذلك حسب رغبة الفنان .

مسألة حول شروق الشمس

لنفرض اننا قمنا بمراقبة شروق الشمس ، فى الساعة الخامسة صباحا بالضبط . ولكن المعروف ان الضوء لا ينتشر فى لمح البصر ، بل تحتاج اشعته الى بعض الوقت لكى تصل من مصدر الضوء الى عين المراقب . ولذلك يمكن ان نطرح السؤال التالى : فى اية ساعة بالضبط ، كنا سنشاهد ذلك الشروق بالذات ، لو كان الضوء ينتشر فى لمح البصر ؟

ان الضوء يقطع المسافة بين الشمس والارض فى ٨ دقائق . يظهر من ذلك ، انه عند انتشار الضوء فى لمح البصر ، كنا سنشاهد شروق الشمس قبل موعده بـ ٨ دقائق ، اى فى الساعة الرابعة والدقيقة الثانية والخمسين ؟

وربما استغرب الكثير من الناس ، اذا ما علم بان الاجابة السابقة غير صحيحة مطلقا . ان الشمس تشرق ، لان الكرة الارضية تدور لتواجه الفراغ المضاء سابقا . ولهذا السبب ، فعند انتشار الضوء في لمح البصر ، كنا سنشاهد شروق الشمس في نفس اللحظة ، اى فى الساعة الخامسة صباحا بالضبط * .

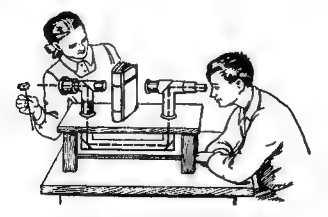
ويختلف الامر اذا ما قمنا بمراقبة ظهور نتوء ما على حافة الشمس « بالتلسكوب » . اذ اننا فى حالة انتشار الضوء فى لمح البصر ، كنا سنشاهده قبل ٨ دقائق .

* اذا أخذنا فى الاعتبار ما يسمى بـ « الانكسار الجوى » ، فان النتيجة ستكون غير متوقعة اكثر . ان الانكسار يحنى طريق الاشعة فى الفضاء ، وبذلك يجعلنا نشاهد شروق الشمس ، قبل ظهورها بالفعل فوق الافق . ولكن عند انتشار الضوء فى لمح البصر ، لا يمكن حدوث الانكسار ، وذلك لان الانكسار يعتمد فى حدوثه على اختلاف سرعة الضوء فى الاوساط المختلفة . وعدم وجود الانكسار ، يجعل المراقب يشاهد شروق الشمس ، فى وقت متأخر قليلا ، عما هو عليه ، فى حالة عدم انتشار الضوء فى لمح البصر . وهذا الاختلاف يعتمد على خط العرض الذى يقع عليه مكان المراقبة ، وعلى درجة حرارة الهواء وعلى عوامل اخرى . وتتراوح قيمة ذلك الاختلاف (الفرق) بين دقيقتين وبضعة ايام ، وحتى اكثر من ذلك (عند خطوط العرض القطبية) . وينتج من ذلك تناقض ظاهرى طريف : عند انتشار الضوء فى لمح البصر ، فان شروق الشمس يبين فى وقت اكثر تأخيرا من الوقت الذى يبين فيه ، عند عدم انتشار الضوء فى لمح البصر !

الفصل الثامن | انعكاس وانكسار الضوء

الرؤية من خلال الجدران

فى تسعينيات القرن الماضى ، كان يباع فى الاسواق جهاز يحمل اسما رنانا هو « جهاز رونتجن » . واتذكر كيف اصابتنى الارتباك ، عندما تناولت بيدى لاول مرة ، ذلك الجهاز الماهر الصنع ، وكنت لم ازل بعد تلميذا . وقد استطعت بواسطته ، ان ارى الاشياء خلال حواجز غير منفذة ! وقد تمكنت ان اميّز الاشياء المحيطة بى ، ليس خلال ورقة سميكة فقط ، بل وخلال نصل السكين ، الذى لا يمكن ان تخترقه حتى اشعة اكس الحقيقية . واذا نظرنا الى الشكل ٩٥ ، الذى يبين لنا النموذج الاصلى لذلك الجهاز المذكور ، فسوف نعرف سر تركيبه فى الحال . يحتوى الجهاز على



شكل ٩٥ : جهاز رونتجن (اشعة إكس) المزيف .

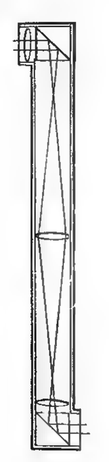
8 Зак 15662

اربع مرايا صغيرة ، مائلة بزاوية ٤٥° ، تقوم بعكس الاشعة عدة مرات ، الى ان تمررها حول الحاجز غير المنفذ .

وتستخدم مثل هذه الاجهزة بكثرة ، فى المهمات الحربية . ويمكن عند الجلوس فى الخندق ، مراقبة تحركات العدو ، دون ان نرفع الرأس فوق مستوى الارض ، وبذلك



شكل ٩٦ : البيريسكوب .



شكل ٩٧ : رسم تخطيطى لبيريسكوب الغواصة .

نتجنب نار العدو . ويسمى الجهاز الذى نستخدمه لهذا الغرض بـ « البيريسكوب » وهو مبين فى الشكل ٩٦ .

وكلما طال طريق الاشعة من الهدف الى عين المراقب ، كلما قل مجال الابصار الحاصل فى البيريسكوب . ولتكبير مجال الابصار تستخدم مجموعة خاصة من العدسات البصرية . ولكن العدسات تمتص جزءا من الضوء الداخل الى البيريسكوب . ولهذا السبب ، يقل وضوح الرؤية ، الامر الذى من شأنه تحديد الارتفاع الاقصى للبيريسكوب ، بحوالى عشرين مترا . اما الاجهزة التى يزيد ارتفاعها على ذلك ، فتعطى مجال ابصار صغير جدا ، وتكون الصورة فيها غير واضحة ، وخاصة فى الجو الغائم .

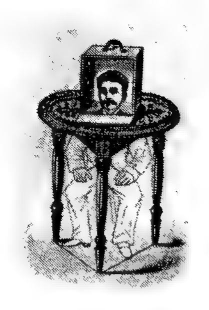
وباستخدام البيريسكوب ، يستطيع قائد الغواصة ان يراقب السفينة التى يريد مهاجمتها — للبيريسكوب ماسورة طويلة يخرج طرفها فوق سطح الماء . وتركيب هذا البيريسكوب اكثر تعقيدا من تركيب البيريسكوب البرىّ ، غير ان المبدأ واحد : تعكس الاشعة بواسطة مرآة (او مواشير) ، مثبتة فى الجزء البارز من البيريسكوب ، وتمر بعد انعكاسها فى داخل الماسورة بصورة محاذية لها ، ثم تنعكس فى القسم السفلى ، وتذهب الى عين المراقب (شكل ٩٧) .

الرأس «المقطوع» يتكلم !

ان هذه « المعجزة » كثيرا ما طالعت الناس سابقا ، وخاصة فى « متاحف الطرائف » المتنقلة فى الريف . وفى الحقيقة ، فان هذه المعجزة تذهل الانسان ، اذ يرى امامه رأسا آدميا مقطوعا ، وقد وضع فى طبق على منضدة صغيرة ، وهو حىّ (اى الرأس) تتحرك عيونه ويتكلم ويأكل ! وبالرغم من عدم استطاعة احد من المشاهدين ، التقرب من المنضدة — لوجود حاجز — يتضح انه لا يوجد اى شىء تحتها .

واذا ما شاهد القارئ فى المستقبل مثل هذه « المعجزة » . فما عليه الا ان يأخذ ورقة مجعدة ، ويقذفها فى الفراغ الموجود تحت المنضدة . سيرى بعد ذلك ان اللغز

قد اصبح واضحا فى الحال : اذ سترتد الورقة عن المرآة ! واذا لم تصل الى المرآة ،فانها مع ذلك ستكشف وجود المرآة ، وذلك لان صورتها ستظهر فيها (شكل ٩٨) .



شكل ٩٨ : سر الرأس « المقطوع ».

ويكفى ان نضع مرآة تمتد من احدى قوائم المنضدة الى القائمة الاخرى ، لكى يظهر الفراغ الموجود تحتهما خاليا بالنسبة للمشاهد البعيد — طبعا فى حالة واحدة فقط ، هى عند عدم انعكاس اثاث الغرفة او الجمهور ، فى المرآة . ولهذا ، يجب ان تكون الغرفة خالية ، والجدران متشابهة تماما ، وارضية الغرفة مدهونة بلون واحد ، بلا زخرفة ، ويبعد الجمهور عن المرآة بمسافة كافية تفى بالغرض .

ان السر هنا بسيط جدا . ولكن لعدم اطلاع القارئ عليه بعد ، فانه سيبقى حائرا فى ماهيته .

واحيانا ، يزداد الملعوب غواية . يقوم الحاوى اولا بعرض المنضدة وهى فارغة ، لا يوجد اى شيء فوقها او تحتها . ثم يجلب مساعدوه من وراء المسرح ، صندوقا مقفلا ، كما لو كان فى داخله الرأس المقطوع (اما فى الواقع فان الصندوق فارغ) . يضع الحاوى هذا الصندوق على المنضدة ، ويفتح الجدار الامامى — ويظهر امام الجمهور المشدوه ، رأس مقطوع يتكلم . ربما يكون القارئ الآن قد عرف ان سطح المنضدة يحتوى على قسم قلابى ، يسد الفتحة ، التى من خلالها يقوم الرجل الجالس تحت المنضدة ، وراء المرآة ، باخراج رأسه عندما يوضع على المنضدة ، ذلك الصندوق الفارغ ، الذى لا يحتوى على قعر . وهناك طرق اخرى عديدة للقيام بمثل هذه الخدعة ، لا يتسع المجال لذكرها هنا ، وتأمل ان يكون بمستطاع القارئ حل الغازها بنفسه .

من الامام ام من الوراء ؟

هناك كثير من اللوازم المنزلية ، التى لا يحسن عدد كبير من الناس ، استخدامها بصورة ملائمة للغرض . وقد ذكرنا سابقا ، ان بعض الناس لا يحسنون استخدام الجليد للتبريد ، اذ يضعون الشراب المراد تبريده ، على الجليد ، بدلا من وضعه تحته . ويتضح ان عددا من الناس لا يحسن استخدام المرآة . ففى كثير من الاحيان ، عندما يريد احدهم رؤية نفسه بوضوح فى المرآة ، يأتى بمصباح ويضعه وراءه ، لكى « يضىء صورته » ، بدلا من اضاءة نفسه بالذات ! وهناك كثير من النساء ، يتصرفن على هذا النحو . اما قارئة هذا الكتاب ، فلا شك فى انها ستنتبه الى ضرورة وضع المصباح امام نفسها .

هل يمكن رؤية المرآة ؟

وهذا دليل آخر على عدم معرفتنا الكافية بالمرآة العادية : فعندما نسأل ، هل يمكن رؤية المرآة ، يجيب اكثر الناس اجابة غير صحيحة ، مع ان الجميع ينظر فى المرآة يوميا ؟

ان من يعتقد انه يستطيع رؤية المرآة ، يكون مخطئا . ان المرآة الجيدة النظيفة ، لا ترى مطلقا . يمكن رؤية اطار المرآة وحافاتها ، والاشياء المنعكسة فيها ، اما المرآة نفسها ، فيما اذا لم تكن متّسخة ، فلا يمكن رؤيتها . ان كل سطح عاكس ، يتميّز عن السطح المشتت ، بانه غير مرئيّ بتاتا (السطح المشتت ، هو ذلك السطح الذى يشتت اشعة الضوء ، فى كافة الاتجاهات الممكنة . وفى حياتنا العملية ، نسمى السطح العاكس بالسطح الملمّع — المصقول — والسطح المشتت ، بالسطح العاتم) .

ان كافة الحيل والالغاز يتم تنفيذها عن طريق استخدام المرايا وحتى لو أخذنا على سبيل المثال تجربة الرأس « المقطوع » ، فان سر هذه الخدعة يكمن فى ان المرآة نفسها غير مرئية ، اما ما نشاهده فهو الاشياء المنعكسة منها فقط .

من نرى عندما ننظر في المرآة ؟

« طبعا نرى انفسنا — هذا ما يجيبه الكثير من الناس ، لان صورتنا فى المرآة هى نسخة طبق الاصل منا ، وتشبهنا من كافة الوجوه » .

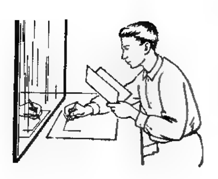
ولكن ، اليس من الملائم التأكد من هذا التشابه ؟ لنفرض ان للقارئ شامة على خده الايمن ، فلو نظر فى المرآة لرأى ان الخد الايمن لشبيهه نظيف . اما الخد الايسر ، فعليه شامة . واذا كنت تمشط شعرك على الجهة اليمنى ، فسيمشط شبيهك شعره على الجهة اليسرى . واذا كان حاجبك الايمن اعلى واكثف من الايسر ، فسيكون شبيهك بعكس ذلك ، فالحاجب الايمن عنده واطئ وغير كثيف . واذا كنت تضع الساعة فى الجيب الايمن للسترة ، ودفتر المذكرات فى الجيب الايسر ، فستكون ساعة شبيهك موضوعة فى جيبه الايسر ، ودفتر المذكرات فى جيبه الايمن . لاحظ ميناء الساعة التى يحملها شبيهك ، لم يكن عندك مثل هذه الساعة ابدا : ان ترتيب وخط الارقام الموجودة على الميناء ، غير طبيعيين . مثلا ان الرقم ثمانية ، مخطوط بشكل غريب ليس له وجود فى العالم — IIX ، وقد وضع فى مكان الرقم اثنى عشر ، الذى ليس له وجود بدوره . وبعد الرقم ستة يأتى الرقم خمسة . . وهكذا (شكل ٩٩) . وبالاضافة الى ذلك ، فان عقارب ساعة شبيهك ، تتحرك عكس الحركة العادية لعقارب ساعتك .

واخيرا ، فان لشبيهك فى المرآة ، عيبا بدنيا لا يوجد فيك على كل حال ، انه اعسر . فهو يكتب ويخيط ويأكل باليد اليسرى ، واذا اردت ان تحييه ، فسوف يرد عليك التحية باليد اليسرى .

وليس من السهل ان نقرر ، فيما اذا كان شبيهك يعرف القراءة والكتابة ام لا . وعلى كل حال فهو يعرف القراءة والكتابة على طريقته الخاصة . ولا اعتقد بانك تستطيع ان تقرأ ولو سطرا واحدا ، من اسطر الكتاب الذى يحمله ، او كلمة واحدة من الكلمات المشوهة التى يخطها بيده اليسرى .



شكل ٩٩ : هذه ساعة شبيهك الذى تراه فى المرآة .





شكل ١٠٠ : الرسم امام المرآة .

ذلك هو الشخص الذى يدعى انه يشبهك تماما ! وانت بدورك ، تريد ان تحكم على منظرك الخارجى بمنظر ذلك الشخص .

لندع المزاح جانبا : اذا كان القارئ يفكر بانه عندما ينظر فى المرآة ، يرى نفسه ، فانه يخطئ فى ذلك . ان الوجه والجسم والملابس ، ليست متماثلة تماما عند اكثر الناس (بالرغم من اننا فى العادة ، لا نلاحظ ذلك) . ان النصف الايمن لا يشبه النصف الايسر كامل الشبه . وفى المرآة ، تنتقل كافة ميزات النصف الايمن الى النصف الايسر ، وبالعكس ، بحيث يظهر امامنا جسم ، يعطى فى اكثر الاحيان ، انطباعا يختلف تماما عن الانطباع الذى يعطيه جسمنا بالذات .

الرسم امام المرآة

ان عدم تماثل الصورة التى تظهر فى المرآة ، مع الاصل ، يبدو اكثر وضوحا عند القيام بالتجربة التالية :

ضع امامك على المنضدة ، مرآة بصورة عمودية على مستوى المنضدة ، ثم ضع امام المرآة ورقة ، وحاول ان ترسم عليها اى شكل ، مثلا مستطيلا بخطوط قطرية متقاطعة ، على الا تنظر اثناء ذلك الى يدك مباشرة ، بل تتبع حركات صورتها فى المرآة (شكل ١٠٠) .

سوف تتأكد ان هذه العملية البسيطة ، تصبح تقريبا غير ممكنة التحقيق . فخلال سنوات عديدة من عمرنا ، حصل توافق معيّن بين الانطباعات البصرية والاحاسيس الحركية . والمرآة تخل بهذا التوافق ، وذلك لانها تظهر لنا حركات اليد بصورة مشوهة . ان العادات المستحكمة ، ستعارض كل حركة تقوم بها اليد : فاذا اردت ان ترسم خطا من اليسار الى اليمين ، سترى ان يدك تحرك القلم من اليمين الى اليسار . . . وهكذا .

وسوف تظهر امامك اشياء اخرى غريبة غير متوقعة . فاذا حاولت ان ترسم بدل الاشكال البسيطة ، اشكالا اكثر تعقيدا ، او ان تكتب شيئا ما وتنظر الى السطور فى المرآة ، عندئذ سترى اشياء مختلطة تدعو الى الضحك .

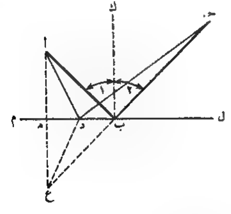
والاختام التي تختم بها الاوراق ، هي الاخرى عبارة عن صور للتماثل الانعكاسي . لاحظ الكتابات الموجودة على اوراقك الخاصة ، وحاول ان تقرأها فى المرآة . انك سوف لا تستطيع ان تقرأ حتى كلمة واحدة منها ، ولو كانت اوضح الكلمات : ان للحروف ميلا غير طبيعي نحو اليسار (او نحو اليمين بالنسبة للغة العربية) ، والشيء الرئيسي هو ان تتابع السطور ، يختلف عن التتابع الذى اعتدت عليه . واذا وضعت المرآة بصورة عمودية على الورقة ، لاستطعت ان ترى فيها كافة الحروف ، كما اعتدت على مشاهدتها دائما . ان المرآة تعطي صورة متماثلة ، لما هو بالذات صورة متماثلة لخط يدك .

اقصر واسرع طريق

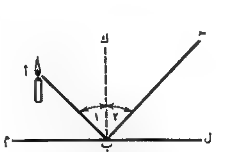
ان الضوء ينتشر في الوسط المتجانس ، بصورة مستقيمة ، اى باقصر طريق . غير انه يختار اقصر طريق ايضا ، عندما لا ينتشر من نقطة الى اخرى مباشرة ، بل بعد انعكاسه فى المرآة .

والآن لنتتبع طريق الضوء . لنفرض ان الحرف أ في الشكل ١٠١ ، يمثل

مصدر الضوء ، والخط م ل يمثل المرآة ، اما الخط المنكسر أ ب ﺟ ، فيمثل طريق الشعاع ، المنبعث من الشمعة الى العين ﺟ . والمستقيم ك ب عمودي على م ل .
وحسب قوانين الضوء ، فان زاوية الانعكاس ٢ ، تساوي زاوية السقوط ١ . وبمعرفة ذلك ، يمكن ان نثبت بسهولة ، ان الطريق أ ب ﺟ ، هو اقصر الطرق الممكنة ، التي تصل بين أ و ﺟ ، مع المرور بسطح المرآة م ل . ولهذا الغرض ، نقارن طريق الشعاع أ ب ﺟ ، مع طريق آخر ، مثلا أ د ﺟ (شكل ١٠٢) . ننزل العمود أ ﻫ من النقطة أ على الخط م ل ، ونمدّه الى الاسفل حتى يتقاطع مع امتداد الشعاع ب ﺟ في النقطة ع .
ونصل كذلك النقطتين ع و د بالمستقيم ع د . لنتأكد قبل كل شيء ، من تطابق المثلثين أ ب ﻫ و ﻫ ب ع . ان المثلثين قائما الزاوية ولهما ضلع مشترك هو ﻫ ب ، وبالاضافة الى ذلك ، فان الزاويتين ﻫ ع ب و ﻫ أ ب ، متساويتان فيما بينهما ، وذلك لانهما تتساويان بالتطابق ، مع الزاويتين ١ و ٢ . اذن ، أ ﻫ = ﻫ ع . وينتج مما سبق ان المثلثين أ ﻫ د و ﻫ د ع متطابقان ، وذلك لتساوي الضلعين القائمين . اذن ، أ د = د ع .



شكل ١٠٢ : ان الضوء عند انعكاسه يختار اقصر الطرق .



شكل ١٠١ : ان زاوية الانعكاس (٢) ، تساوي زاوية السقوط (١) .

وبناء على ذلك ، نستطيع الاستعاضة عن الطريق أ ب ج ، بالطريق ج ب ع المساوي له (لان آب = ع ب)، والاستعاضة عن الطريق أد ج بالطريق ج د ع . وبمقارنة الطريقين ج ب ع و ج د ع ، مع بعضهما، نجد ان الخط المستقيم ج ب ع اقصر من الخط المنكسر ج د ع . وينتج من ذلك ان الطريق أ ب ج اقصر من الطريق أ د ج ، وهو المطلوب اثباته !

واينما وقعت النقطة د ، فان الطريق أ ب ج ، سيكون دائما اقصر من الطريق أ د ج ، فيما اذا كانت زاوية الانعكاس مساوية لزاوية السقوط . وهذا يعنى ان الضوء بالفعل يختار اقصر واسرع طريق من بين كافة الطرق الممكنة ، الواصلة بين كل من مصدر الضوء والمرآة والعين .

وقد اشار الى ذلك لاول مرة ، العالم الاغريقى القديم هيرون الاسكندرى .

طيران الغراب

ان المقدرة على ايجاد اقصر طريق ، فى مثل الحالات التى بحثناها سابقا ، تساعدنا على حل بعض الالغاز . وعلى سبيل المثال اليكم المسألة التالية .

غراب جالس على غصن شجرة . وتوجد فى اسفل الشجرة على الارض ، حبوب مبعثرة . يهبط الغراب من الغصن ، ثم يلتقط حبة ويطير ليحط على السياج .

والسؤال الآن هو : من اى مكان يجب ان يلتقط الغراب تلك الحبة ، بحيث يكون طريقه اقصر ما يمكن ؟ (شكل ١٠٣) .

ان هذه المسألة مشابهة تماما ، للمسألة التى بحثناها توا . ولذلك لا يصعب علينا ان نجيب على هذا السؤال اجابة صحيحة :

يجب على الغراب ان يسلك طريق شعاع الضوء ، اى يطير بحيث تكون الزاوية ١ مساوية للزاوية ٢ (شكل ١٠٤) . وقد رأينا سابقا كيف ان الطريق فى هذه الحالة، يكون اقصر ما يمكن .



شكل ١٠٣ : مسألة الغراب . ايجاد اقصر طريق الى السياج .

الكاليدوسكوب (نظارة الاشكال والالوان الجميلة)

يعرف الجميع ما هو الكاليدوسكوب. انه عبارة عن بعض الشظايا الزجاجية لمرقشة (الملونة) ، الموضوعة بين ثلاث مرايا مسطحة صغيرة . ويعطى الكاليدوسكوب اشكالا جميلة مدهشة ، تتغيّر عند اقل استدارة . ومع ان الكاليدوسكوب معروف الى درجة كافية ، فان قليلا من الناس يشكون في العدد الهائل للاشكال المتنوعة التي يمكن الحصول عليها بواسطته . لنفرض ان الكاليدوسكوب الذى بين يدينا ، يحتوى على ٢٠ شظية زجاجية ، واننا ندير في الدقيقة الواحدة ١٠ مرات ، للحصول على وضع جديد لتلك الشظايا العاكسة . ما هو الوقت اللازم ، لكى نستطيع مشاهدة جميع الاشكال المتكونة عند ذلك ؟

ان اوسع خيال في العالم لا يمكن ان يتصور الاجابة الصحيحة على هذا السؤال .

قد تجف المحيطات وتتزعزع سلاسل الجبال ، قبل ان تنفد كافة الزخارف ، التي تختفى بشكل بديع داخل ذلك الكاليدوسكوب الصغير . وذلك لاننا اذا اردنا

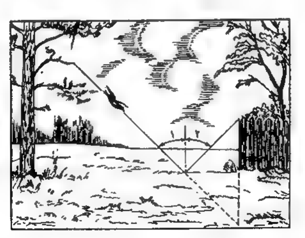
تنفيذ (عمل) كافة الزخارف ، لاحتجنا الى ٥٠٠٠٠٠ مليون سنة على الاقل . اى نحتاج الى تدوير الكاليدوسكوب لمدة خمسمائة الف مليون سنة ، لكى نتمكن من مشاهدة كافة زخارفه .

ان زخارف الكاليدوسكوب اللامتناهية الانواع والمتغيرة على الدوام ، ما زالت منذ مدة طويلة ، موضع اهتمام رسّامى الزخارف ، الذين لا تستطيع مخيلتهم منافسة ابداعات الكاليدوسكوب ، التى لا تنضب .

ويعطى الكاليدوسكوب احيانا ، زخارف رائعة الجمال ، يمكن استخدامها بمثابة نماذج لنقوش ورق الجدران وزخرفة مختلف انواع الاقمشة وغير ذلك .

ولكن الكاليدوسكوب اليوم ، لا يثير اهتمام الجماهير ، كما كان عليه الحال قبل مائة عام ، عندما كان يعتبر شيئا جديدا بعد . فقد نظمت فى وصفه الاشعار ودبجت المقالات .

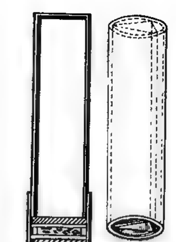
لقد اخترع الكاليدوسكوب فى انجلترا عام ١٨١٦ ، ووصل الى روسيا بعد سنة ونصف من ذلك التاريخ ، حيث قوبل باعجاب شديد . وقد وصفه احد كتاب ذلك



شكل ١٠٤ : حل مسألة الغراب .

العصر بقوله : «يستحيل وصف كل ما تراه فى الكاليدوسكوب . ان الاشكال تتغير كلما تتحرك اليد، وهى لاتشبه بعضها البعض . انها زخارف بديعة ! وكم كان رائعا لو استطعنا نسجها من خيوط الحرير ! ولكن كيف نحصل على مثل هذا الحرير اللماع ؟ وستكون هذه العملية مربحة للغاية اذ انها تنقذ الانسان من الضجر وتلهيه .

ويؤكد البعض ، بان الكاليدوسكوب كان معروفا فى القرن السابع عشر . ولكنه بعد ذلك ظهر بشكل محسن فى انجلترا ، ثم انتقل الى فرنسا . وقد اوصى احد الاثرياء الفرنسيين بصنع كاليدوسكوب



شكل ١٠٠ : الكاليدوسكوب .

بلغ ثمنه ٢٠٠٠٠ فرنك . وقد امر ان توضع فى داخله الاحجار الكريمة واللآلىء ، بدل الشظايا الزجاجية الملونة » :

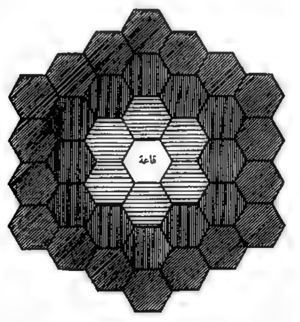
ويروى الكاتب بعد ذلك فكاهة مسلية عن الكاليدوسكوب . واخيرا يختتم مقالته بملاحظة ملنخولية ، تعطى طابعا مميزًا جدا لعصر الاقطاع والتخلّف :

« ان الميكانيكى الامبراطورى روسبينى ، المعروف بآلاته البصرية الرائعة ، يصنع الكاليدوسكوبات ويبيعها بثمن قدره ٢٠ روبلا للكاليدوسكوب الواحد . ولاشك فى ان الكثيرين من الناس ، سيفضلون شراء الكاليدوسكوب ، على حضور محاضرات الكيمياء والفيزياء ، التى — مع الاسف والدهشة — لم يربح السيد روسبينى من ورائها ، اية فائدة لنفسه » .

وقد بقى الكاليدوسكوب مدة طويلة . لم يعتبر خلالها اكثر من لعبة مسلية ، ولكن فى هذه الايام ، بدأوا يستفيدون منه فى وضع الزخارف . وقد اخترع جهاز يمكن بواسطته تصوير الزخارف التى تظهر فى الكاليدوسكوب ، وبذلك يمكن رسم النقوش بصورة ميكانيكية .

قصور الاوهام والسراب

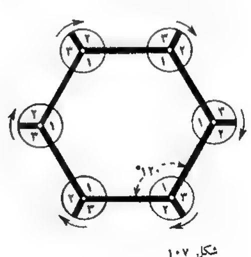
ماذا سيكون شعورنا ، اذا اصبحنا بحجم الشظايا الزجاجية ، ووجدنا انفسنا فى داخل الكاليدوسكوب ؟ هناك طريقة للقيام بذلك فعلا ! وقد اتيحت هذه الفرصة الرائعة ، لزوار معرض باريس الدولى فى عام ١٩٠٠ ، حيث اثارت الاعجاب ، القاعة المسماة بـ « قصر الاوهام » . وهى قاعة شبيهة بالكاليدوسكوب ، ولكنها ثابتة . وكانت القاعة سداسية الشكل ، وكل جدار من جدرانها عبارة عن مرآة ضخمة مثالية الصقل . وقد انشئت فى زوايا قاعة المرايا ، زخارف معمارية على هيئة اعمدة وافاريز ، مدغمة مع السقف . وكان الزائر الذى فى داخل القاعة المذكورة ، يرى نفسه تائها فى حشد لا يمكن تصوره ، من الناس الذين يشبهونه ، وقد احاطوا به من كل الجوانب ، حتى



شكل ١٠٦ : ان الانعكاس الثلاثى بجدران القاعة (الصالة) الرئيسية ، يولد ٣٦ قاعة (صالة).

متلألئة بهم القاعات ذات الاعمدة الممتدة على مدى الرؤية ، فى صف ليست له نهاية .

ان القاعات المظللة بخطوط افقية (شكل ١٠٦) ، تتكون نتيجة للانعكاس مرة واحدة ، والقاعات المظللة بخطوط عمودية على الخطوط الاولى ، اى القاعات الاثنى عشرة ، تتكون نتيجة للانعكاس مرتين . وتضاف الى كل ذلك ، ١٨ قاعة اخرى ، تتكون نتيجة للانعكاس ثلاث مرات (مظللة بخطوط مائلة) ، وتتضاعف القاعات مع كل انعكاس ، ويعتمد عددها الكلى على جودة صقل وموازاة المرايا ، الموجودة على الوجوه المتقابلة للقاعة الموشورية . وامكن فى الواقع ، رؤية قاعات اخرى ، متكونة نتيجة للانعكاس الثانى عشر ، اى امكن رؤية ٤٦٨ قاعة فقط .



شكل ١٠٧

شكل ١٠٨ : سر « قصر الاوهام » .

ولا بد لكل من تعرّف على قوانين انعكاس الضوء ، ان يعلم سبب الظاهرة المذكورة اعلاه : توجد هناك ثلاثة ازواج من المرايا المتوازية ، وقد وضعت بزاوية ميل معينة ، ولذلك فليس من العجيب ان تعطى عددا كبيرا من الانعكاسات . والاكثر طرافة من ذلك ، هى تلك المؤثرات البصرية ، التى تم التوصل اليها فى معرض باريس ، فى داخل ما يسمى بـ « قصر السراب » . ان مصممى هذا « القصر » اضافوا الى الانعكاسات اللامتناهية ، عاملا آخر ، هو تغيير المنظر برّمته تغييرا سريعا جدا . وبهذا فكأنّهم قد انشأوا كاليدوسكوبا متحركا ضخما ، مع وجود الزّوار فى داخله .

وقد تم تغيير المنظر فى « قصر السراب » ، بالشكل التالى : قصّت المرايا طوليا على مسافة قليلة من الضلع ، ثم جعلت الزاوية الناتجة من ذلك ، تدور على محور ، بحيث يمكن استبدالها بزاوية اخرى . ويتضح من الشكل ١٠٧ ، انه بالامكان القيام بتبديل الزاوية ثلاث مرات ، طبقا للزوايا ١ و٢ و٣ . والآن لنفرض ان كافة الزوايا الموجودة تحت رقم ١ ، تعطى منظر غابة استوائية ، والزوايا الموجودة تحت رقم ٢ ، تعطى منظر قاعة فى قصر عربىّ ، والزوايا الموجودة تحت رقم ٣ ، تعطى منظر معبد هندىّ . وبحركة واحدة للآلية المخفية ، التى تقوم بتدوير الزوايا وتغييرها ، يتحول المنظر من غابة استوائية الى معبد هندى ، او الى قصر عربى . ان السر باكمله ، يكمن هنا فى ظاهرة فيزيائية ، بسيطة جدا ، هى انعكاس اشعة الضوء .

لماذا وكيف ينكسر الضوء

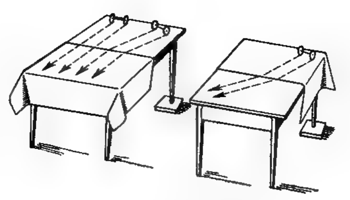
ان انكسار الضوء عند انتقاله من وسط الى آخر ، يبدو لكثير من الناس ، بمثابة تقلب غريب من تقلبات الطبيعة . انهم لا يفهمون لماذا لا يحافظ الضوء فى الوسط الجديد ، على اتجاهه المستقيم ، ويختار طريقا منكسرا . اذا كان القارئ من هؤلاء الناس ، فانه سيسر اذا قلنا له ، بان شعاع الضوء يسلك فى الواقع ، نفس سلوك فرقة من الجنود المشاة ، عندما تجتاز الحد الفاصل بين ارض منبسطة واخرى وعرة . واليكم

ما يقوله في هذا الصدد ، العالم الفلكي والفيزيائي الشهير جون جيرشل ، وهو من علماء القرن الماضي .

« لنتصور فرقة من الجنود السائرين على ارض مقسمة الى قسمين بواسطة خط حدود مستقيم ، بحيث يكون القسم الاول منبسطا ومريحا بالنسبة للسير ، والقسم الثانى وعرا ، لا يمكن السير عليه بنفس سرعة السير على القسم الاول . ولنفرض بالاضافة الى ما سبق ، ان مقدمة الفرقة تشكل زاوية مع خط الحدود الموجود بين القسمين ، بحيث لا يصل الجنود كلهم فى نفس الوقت الى ذلك الخط ، ولكنهم يصلونه الواحد بعد الآخر على التوالى . وعندئذ ، بعبور كل جندى لخط الحدود ، سيجد نفسه فى ارض لا يمكنه السير عليها ، بنفس سرعة سيره على الارض السابقة . وليس فى استطاعته بعد الآن السير على خط واحد مع القسم الباقى من الصف ، الموجود على الارض السهلة ، وسوف يتخلف عنه اكثر فاكثر بمرور الوقت . وبما ان كل جندى يصل الحدود ، يشعر بنفس الصعوبة فى السير ، واذا فرضنا ان الجنود لا يخلون بنظام الصف ولا يتبعثرون ، بل سيستمرون فى سيرهم بطابور منتظم ، فان كل ذلك القسم من الطابور ، الذى اجتاز خط الحدود ، سوف يتخلف حتما عن القسم الباقى ، وبذلك يشكل معه زاوية منفرجة فى نقطة تخطى الحدود . وبما ان ضرورة سير الجنود سيرا منتظما ، دون ان يقطع احدهم طريق الآخر ، تحتم على كل منهم ان يخطو الى الامام بزاوية قائمة مع الجبهة الجديدة ، فان الطريق الذى يقطعه عندما يعبر الحدود ، سيكون اولا عموديا على الجبهة الجديدة ، وثانيا لكانت علاقته بذلك الطريق الذى كان سيقطعه فى حالة عدم وجود ابطاء ، كعلاقة السرعة الجديدة بالسرعة السابقة .

ونستطيع بصورة مصغرة ، القيام بتجربة توضح انكسار الضوء ، وذلك على المنضدة الموجودة امامنا . نغطى نصف المنضدة بغطاء (شكل ١٠٩) . وبامالة المنضدة قليلا ، ندحرج العجلتين الصغيرتين المربوطتين بمحور واحد (يمكن استخدام عجلات القاطرة الصغيرة التى يلهو بها الاطفال) .

7 Зак 15662



شكل ١٠٩ : تجربة توضح ظاهرة انكسار الضوء .

واذا كان اتجاه حركة العجلتين ، يشكل زاوية قائمة مع حافة الغطاء ، فلا يحدث انكسار في الطريق . ويكون لدينا في هذه الحالة ، شرح عملي لقاعدة بصرية ، وهي : ان الشعاع العمودي على مستوى فصل (تقسيم) الاوساط ، لا ينكسر . وعندما يكون اتجاه الحركة ، مائلا بالنسبة لحافة الغطاء ، فان طريق العجلتين ينكسر عند تلك الحافة ، اى عند الحدود بين الاوساط التي تكون سرعة الحركة فيها مختلفة . ومن السهل ان نلاحظ ، انه عند الانتقال من قسم المنضدة ، الذي تكون سرعة الحركة فيه اكبر (القسم غير المغطى) ، الى القسم الذي تكون السرعة فيه اقل (القسم المغطى) ، يقترب اتجاه الطريق (الشعاع) من « عمود السقوط » . وعندما تكون الحالة على عكس ذلك ، يبتعد اتجاه الطريق عن عمود السقوط .

ويمكننا ان نستمد من ذلك ، دلالة تكشف لنا حقيقة الظاهرة المذكورة . وهي ان الانكسار يعتمد على اختلاف سرعة الضوء في كلا الوسطين . فكلما زاد اختلاف السرعة ، كلما زاد الإنكسار . ان ما يسمى بـ « دليل الانكسار » ، الذي يبيّن مقدار انكسار الاشعة ، ما هو الا عبارة عن النسبة بين تلك السرع . وعندما نقرأ بان دليل الانكسار عند الانتقال من الهواء الى الماء ، يساوي $\frac{٤}{٣}$، فاننا نعلم بذلك ان سرعة الضوء في الهواء اكبر من سرعته في الماء بمقدار ١ر٣ مرة تقريبا .

وتوجد بهذا الصدد ، خاصية تعليمية اخرى لانتشار الضوء . اذا كان شعاع الضوء عند انعكاسه ، يتبع اقصر الطرق ، فانه عند انكساره ، يختار اسرع الطرق : اذ لا يوجد اى اتجاه آخر ، يؤدى بالشعاع الى المكان المعيّن ، اسرع من ذلك الطريق (الاتجاه) المنكسر .

متى يقطع الطريق الطويل اسرع مما يقطع الطريق القصير ؟

هل من المعقول ان يؤدى الطريق المنكسر ، الى الهدف ، اسرع مما يؤدى اليه الطريق المستقيم ؟ نعم ، ان ذلك ممكن في الحالات التي تختلف فيها سرعة الحركة في اقسام الطريق المختلفة . لنتذكر ما يفعله سكان القرية الواقعة بين محطتين من محطات السكة الحديدية ، بالقرب من احداهما . فلكي يصلوا بسرعة الى المحطة البعيدة ، يمتطون الحصان ويسيرون اولا في الجهة المعاكسة، اى باتجاه المحطة القريبة، ومن هناك يستقلون القطار ويتوجهون الى المحل المطلوب . وبطبيعة الحال ، كان اقصر الطرق بالنسبة اليهم هو الطريق المستقيم الذى يؤدى بهم مباشرة الى ذلك المكان وهم على صهوة الحصان . ولكنهم يفضلون الطريق الأطول ، الذى يقطعونه على صهوة الحصان وفى القطار ، لانه يؤدى بسرعة الى المحل المطلوب .

لنبحث الآن مثالا آخر . يجب على احد الفرسان ان يحمل رسالة من النقطة أ ويوصلها الى مقر القائد ، الواقع فى النقطة ﺟ (شكل ١١٠) وتفصله عن مقر القائد ارض رملية ومرج ، يوجد بينهما حدّ فاصل هو الخط المستقيم ﻫ ع . ان الحصان يتحرك فى الارض الرملية ابطأ بمرتين ، مما يتحرك فى المرج . والآن ، ما هو الطريق الذى يجب ان يختاره الفارس ، لكى يوصل الرسالة الى القائد باسرع وقت ممكن ؟

يبدو لاول وهلة ، ان اقصر الطرق ، هو الخط المستقيم الواصل بين النقطتين أ و ﺟ . ولكن هذا غير صحيح اطلاقا ، ولا اظن ان هناك فارسا يقوم باختيار مثل هذا الطريق . ان الحركة البطيئة فى الرمل ، تحمله على التفكير الصحيح فى اختصار ذلك القسم من الطريق ، الذى يجعله يسير ببطء ، وذلك بقطع الارض الرملية بخط سيز

اقل انحرافا ، وبذلك يطول القسم الثاني من الطريق – عبر المرج . ولما كان السير في المرج اسرع بمرتين من السير على الارض الرملية ، فان طول الطريق لا يفوق في الاهمية ، الفائدة التي تنجم عن ذلك ، وبالنتيجة ، يتم قطع الطريق باقل فترة زمنية . وبعبارة اخرى ، يجب ان ينكسر طريق الفارس ، عند الحد الفاصل بين الارض الرملية والمرج ، وذلك بحيث تكون الزاوية الحاصلة بين طريق المرج والمستقيم العمودي على خط الحدود ، اكبر من الزاوية الحاصلة بين الطريق الرملي والعمود المذكور .

وباستطاعة من يعرف علم الهندسة المستوية ، وخاصة نظرية فيثاغورس ، التحقق من ان الطريق المستقيم أ جـ ، ليس في الحقيقة اسرع الطرق ، وانه في حالة ابعاد الارض والمسافات التي لدينا في هذا المثال ، يمكن الوصول الى الهدف باسرع ما يمكن ، اذا سلكنا الطريق المنكسر أهـ جـ (شكل ١١١) .

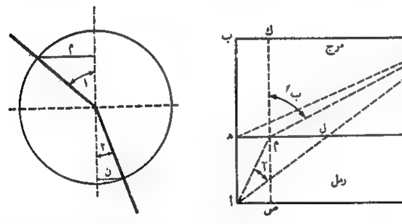
وقد اوضحنا في الشكل ١١٠ ، ان عرض قطعة الارض الرملية هو ٢ كم ، وعرض المرج ٣ كم ، اما المسافة ب جـ فتساوي ٧ كم . عندئذ يكون طول أجـ كله (شكل ١١١) ، حسب نظرية فيثاغورس ، مساويا لما يلي :

$$\sqrt{٥^{٢} + ٧^{٢}} = \sqrt{٧٤} = ٨{,}٦٠ \text{ كم}$$

شكل ١١٠ : مسألة الفارس . ايجاد اقصر طريق من أ الى جـ .

اما القسم أل — الطريق الرملي — فيساوى كما يظهر بوضوح $\frac{٢}{٥}$ من قيمة أ جـ ، اى يساوى ٣ر٤٤ كم . ولما كانت الحركة على الرمل ابطأ بمرّتين من الحركة في المرج، فان مسافة ٣ر٤٤ كم من الطريق الرملي ، تكافئ من حيث الوقت اللازم ، مسافة قدرها ٦ر٨٨ كم من طريق المرج . وبالتالى ، فان طول الطريق المختلط كله ، المقاس بالمستقيم أ جـ ، الذى يبلغ طوله ٨ر٦٠ كم ، يكافئ مسافة قدرها ١٢ر٠٤ كم من طريق المرج .

والآن نقوم بتحويل الطريق المنكسر أ هـ جـ ، الى المقدار الذى يكافئه من طريق المرج . ان القسم اهـ = ٢ كم ، ويكافئ ٤ كم من طريق المرج . والقسم هـ جـ = $\sqrt{٣^٢+٧^٢} = \sqrt{٥٨} = ٧٫٦$ كم. ومجموع الطريق المنكسر أ هـ جـ باكمله، يكافئ المقدار ٤ + ٧ر٦ = ١١ر٦ كم .



شكل ١١١ : حل مسألة الفارس . ان اقصر طريق هو أ م جـ .

شكل ١١٢ : ما هو جيب الزاوية ؟ ان النسبة بين م ونصف القطر ، تمثل جيب الزاوية (١) ، والنسبة بين ن ونصف القطر ، تمثل جيب الزاوية (٢) .

وهكذا ، فان الطريق المستقيم « القصير » ، يكافئ مسافة ١٢ كم ، تقطع على طريق المرج ، والطريق المنكسر « الطويل » ، يكافئ مسافة ١١ر٦ كم فقط ، من نفس طريق المرج . وكما يتضح مما سبق ، فان الطريق « الطويل » يختصر لنا مسافة قدرها ١٢ — ١١ر٦ = ٠ر٤ كم ! ولكننا لم نشر بعد الى اسرع الطرق .
ان اسرع الطرق ، كما جاء فى النظرية ، هو ذلك الطريق (سنلجأ هنا الى علم حساب المثلثات) الذى تكون نسبة جيب الزاوية ب الى جيب الزاوية آ ، عنده ، كنسبة السرعة على طريق المرج الى السرعة على الطريق الرملى ، اى كنسبة ٢ : ١ . وبعبارة اخرى ، يجب اختيار الاتجاه ، بحيث يكون جيب الزاوية ب ، اكبر من جيب الزاوية آ بمرتين . ولاجل ذلك ، يجب اجتياز الحد الفاصل بين قطعتى الارض فى نقطة مثل م ، تقع على مسافة ١ كم من النقطة هـ . عندئذ يكون بالفعل :

$$\text{جا ب}' = \frac{٦}{\sqrt{٣^٢ + ٦^٢}} \text{ ، وجا آ} = \frac{١}{\sqrt{١ + ٢^٢}}$$

وتكون النسبة بينهما كما يلى :

$$\frac{\text{جا ب}'}{\text{جا آ}} = \frac{٦}{\sqrt{٤٥}} : \frac{١}{\sqrt{٥}} = \frac{٦}{٣\sqrt{٥}} : \frac{١}{\sqrt{٥}} = ٢$$

اى مثل النسبة بين السرعتين بالضبط .

والآن ما هو طول الطريق فى هذه الحالة ، بعد تحويله الى ما يكافئه من طريق المرج ؟ ان طول أ م = $\sqrt{٢^٢+١^٢}$ ، وهذا المقدار يكافئ مسافة ٤ر٤٧ كم من طريق المرج . م جـ = $\sqrt{٣^٢+٦^٢}$ = ٦ر٤٩ كم . وطول الطريق باكمله يساوى ٤ر٤٧ + ٦ر٤٩ = ١٠ر٩٦ اى اقصر من الطريق المستقيم ، الذى يبلغ طوله ١٢ر٠٤ كم ، بمقدار ١ر٠٨ كم .

وهكذا تتضح الفائدة التى نجنيها فى مثل هذه الظروف ، نتيجة لانكسار الطريق . وشعاع الضوء ، يختار بالضبط مثل هذا الطريق السريع لان قانون انكسار الضوء ، يحقق

متطلبات الحل الرياضي للمسألة تحقيقا تاما : ان النسبة بين جيب زاوية الانكسار وجيب زاوية السقوط ، مثل النسبة بين سرعة الضوء في الوسط الجديد ، وسرعته في الوسط الذي خرج منه ؛ ومن ناحية اخرى ، فان هذه النسبة تساوي دليل انكسار الضوء في الوسطين المذكورين .

واذا جمعنا بين كل من خواص الانعكاس وخواص الانكسار ، وصغناها في قاعدة واحدة ، لتمكنا من القول بان شعاع الضوء يسلك في كافة الحالات ، اسرع الطرق ، اي يخضع للقاعدة التي يسميها الفيزيائيون بـ « قاعدة اسرع وصول » وهي (قاعدة فيرم) .

واذا كان الوسط غير متجانس ، وله قابلية كسر متغيرة تدريجيا ، مثلا كالجوّ الذي نعيش فيه ، ففي مثل هذه الحالة يحدث اسرع وصول تماما . وهذا يفسر لنا سبب ذلك الانحناء البسيط لاشعة الضوء المنبعثة من النجوم ، عند مرورها في جو الارض ، ويطلق الفلكيون على هذه الظاهرة اسم « الانكسار الجوّي » . وفي طبقات الجو ، التي تزداد كثافتها تدريجيا كلما اقتربنا من سطح الارض ، ينحني شعاع الضوء ، بحيث يتجه تقعّره نحو سطح الارض . ويبقى شعاع الضوء عندئذ ، مدة اطول في الطبقات العليا ، التي تعرقل حركته بشكل ضئيل ، ويقضي مدة اقل في الطبقات الواطئة « البطيئة » . واخيرا ، يصل الى هدفه ، اسرع من وصوله اليه ، فيما لو سلك الطريق المستقيم تماما .

ان قاعدة اسرع وصول (قاعدة فيرم) ، لا تنطبق على الضوء وحده فقط ، بل كذلك تنطبق تماما على انتشار الصوت ، وبصورة عامة على كافة الحركات الموجية ، مهما كانت طبيعة تلك الموجات .

ان القارئ يرغب بلاشك ، في ان يعرف ما هوتفسير خاصية الحركات الموجية هذه . ولذلك اقدم هنا بعض ما قاله بهذا الخصوص ، العالم الفيزيائي المعاصر شريدنجر *.

* من التقرير الذي قرأه في مدينة ستوكهولم ، عند تسلمه جائزة نوبل عام ١٩٣٣ .

وينطلق في ذلك من المثال المعروف لدينا حول سير جنود المشاة ، ويقصد به حالة مرور شعاع الضوء ، في وسط تتغيّر كثافته بالتدريج . يقول شريدنجر :

« لنفرض انه لاجل المحافظة على خط انتظام الجبهة المضبوط ، تم وصل الجنود بعمود طويل ، يمسك به كل جندي بقوة . وامر الجنود بالركض باسرع ما يمكن ! فاذا كانت طبيعة الارض تتغير بالتدريج ، من نقطة الى اخرى ، ففي بادئ الامر سيتحرك الجناح الايمن مثلا اسرع من الجناح الايسر ، وبعد ذلك سيتحرك الجناح الايسر اسرع من الجناح الايمن ، وبذلك سيتحول خط انتظام الجبهة عن وضعيته السابقة ، من تلقاء نفسه . ونلاحظ عند ذلك ، ان الطريق الذى قطعه الجنود ، ليس مستقيما بل منحنيا . ومن المفهوم ان هذا الطريق ينطبق تماما مع اقصر طريق ، من حيث الزمن اللازم للوصول الى النقطة المعينة عند وجود خواص الارض المذكورة اعلاه ، وذلك لان كل جندى قد حاول جهده أن يركض باسرع ما يمكن » .

الشمس تشعل النار

لا شك في ان القارئ يعرف كيف استطاع ابطال قصة جول فيرن « الجزيرة الغامضة » اثناء وجودهم على جزيرة غير مأهولة ، ان يشعلوا النار بدون عيدان ثقاب او زناد . ان الصاعقة التى احرقت الشجرة ، ساعدت قبل ذلك الرحالة روبنسن كروزو على اشعال النار ، اما روبنسن كروزو الحديث في رواية جول فيرن ، فلم تساعده الصدفة ، بل ساعده دهاء المهندس الخبير ومعرفته الجيدة لقوانين الفيزياء . ولعل القارئ يتذكر كيف دهش البحار الساذج بينكروف ، عندما عاد من الصيد ورأى المهندس والصحفي وقد جلسا امام نار مشبوبة ، وقال متسائلا :

« — من اشعل النار ؟

فاجابه سيليت :

— الشمس .

ولم يمزح الصحفي ، فالشمس بالفعل هي التي اشعلت النار ، التي ادهشت البحار . انه لم يكد يصدق ما رآه بأم عينيه ، اذ اصابته الدهشة الى درجة لم يستطع معها ان يستوضح من المهندس جليّة الامر . وسأل جيربرت المهندس قائلا :

ـ هل يعني ذلك ان بحوزتكم عدسة حارقة ؟

فاجابه المهندس :

ـ لا ، ولكنني اعددتها .

ثم اراه كيف فعل ذلك . كان هذا عبارة عن زجاجتين نزعهما المهندس من ساعته وساعة صديقه سبيليت . ثم لحمهما مع بعض من محيطيهما بواسطة الطين ، بعد ان ملأهما بالماء ، وبهذا الشكل تكونت لديه عدسة حارقة حقيقية ، تمكن بواسطتها من اشعال النار ، وذلك بتركيز اشعة الشمس على رقعة صغيرة من الطحلب اليابسى ، الامر الذى أدى الى اشتعاله بسرعة » .

واعتقد ان القارئ يريد ان يعلم لماذا يجب ملء الفراغ الموجود بين زجاجتي الساعتين ، بالماء ، وهل ان العدسة المحدبة الوجهين ، المملوءة بالهواء ،لا تركز اشعة الشمس ؟

ان الجواب هو بالضبط لا . ان زجاجة الساعة محاطة بسطحين (متحدى المركز) متوازيين ـ خارجي وداخلي . ومعروف من الفيزياء ، ان الاشعة عند مرورها بوسط محاط بمثل هذين السطحين ، فانها لا تغيّر اتجاهها تقريبا . ثم بمرورها خلال الزجاجة الاخرى المشابهة للاولى ، فانها هنا ايضا لا تنحرف ،وبالتالى لا تتجمع في البؤرة . ولكى نركز الاشعة في نقطة واحدة ، لا بد من ملء الفراغ الموجود بين الزجاجتين ، باحدى المواد الشفافة ،التي تكسر الاشعة ، اشد مما يكسرها الهواء . وهكذا فعل المهندس في قصة جول فيرن .

ان الدورق الزجاجي المملوء بالماء ، اذا كان شكله كرويا ، يمكن ايضا ان يستخدم بمثابة عدسة حارقة . وقد عرف ذلك اسلافنا القدماء ، الذين لاحظوا ايضا

ان الماء عند ذلك يبقى باردا . وقد حدث ان تسبب دو رق الماء الزجاجي، الموضوع على النافذة المفتوحة ، فى حرق الستائر او غطاء السفرة او سطح المنضدة .

ان تلك القناني الزجاجية الكروية الضخمة ، المملوءة بالماء الملون ، والتى كانت توضع سابقا فى واجهات الصيدليات لتزيينها ، كادت تكون فى بعض الاحيان ، سببا لكوارث حقيقية ، لانها تؤدى الى احتراق المواد القابلة للاشتعال ، الموجودة بالقرب منها .

ويمكن بواسطة دورق زجاجي كروى صغير الحجم ، مملوء بالماء ، ان نجعل الماء المصبوب على زجاجة الساعة ، يبدأ بالغليان : وللقيام بذلك نحتاج فقط الى دورق زجاجي كروى قطره ١٢ سم . وعندما يبلغ البعد البؤرى ١٥ سم (تكون البؤرة عندئذ قريبة جدا من الدورق) ، تصل درجة الحرارة الناتجة ، الى ١٢٠° مئوية . ويمكن بسهولة اشعال السيجارة بواسطة دورق الماء ، مثل اشعالها بواسطة العدسة الحارقة .

ولكن تجدر الاشارة الى ان الحرق بواسطة العدسات المائية ، اضعف بكثير من الحرق بواسطة العدسات الزجاجية . وهذا يعود الى سببين ، الاول هو ان انكسار الشعاع فى الماء ، اقل بكثير من انكساره فى الزجاج ؛ والسبب الثانى ، هو ان الماء يمتّص الى درجة كبيرة ، الاشعة دون الحمراء ، التى تلعب دورا هاما فى تسخين الاجسام

ومن الطريف ، ان الحرق بواسطة العدسات الحارقة ، كان معروفا لدى قدماء الاغريق ، قبل اختراع النظارات والمناظير باكثر من الف سنة . وقد جاء ذكر العدسات الحارقة على لسان اريستوفان الاغريقى فى مسرحيته الهزلية المشهورة « الغمام » . يعرض الفيلسوف سقراط المسألة التالية على ستربسياد :

« اذا كتب شخص سندا ، يلزمك بموجبه بدفع خمس وزنات من الذهب ، فكيف تستطيع التخلص منه ؟

ستربسياد ـــ لقد وجدت طريقة للتخلص من ذلك السند ، وهى طريقة ستجعلك تعترف بانها بارعة جدا ! لقد رأيت بالطبع ، فى الصيدليات ، حجر شفاف رائع يشعلون بواسطته النار ؟

سقراط ـــ العدسة الحارقة ؟

ستريبتياد — نعم بالضبط .

سقراط — وماذا بعد ؟ .

ستريبتياد — عندما يكون كاتب السندات منهمكا فى الكتابة ، سأقف وراءه وأوجّه اشعة الشمس نحو السند .. واجعله يذوب برمّته .. » .

وبهذه المناسبة نذكّر القارئ ، بأن الاغريق فى عهد اريستوفان ، كانوا يكتبون على الواح رقيقة مدهونة بالشمع ، تذوب بسهولة عند تعرضها للحرارة .

اشعال النار بواسطة الجليد

ان الجليد عندما يكون شفافا ، يمكن ان يستخدم لصنع العدسات المحدبة الوجهين ، وبالتالى لاشعال النار . وفى هذه الحالة ، عندما يقوم الجليد بكسر اشعة الشمس ، فانه لا يسخن بالذات ولا يذوب . ان دليل الانكسار فى الجليد ، اقل بقليل من دليل الانكسار فى الماء ، واذا امكن كما رأينا سابقا ، اشعال النار بواسطة كرة زجاجية مملوءة بالماء . يمكننا اذن ان نفعل ذلك بواسطة عدسة حارقة من الجليد . فقد ساعدت العدسة الجليدية الحارقة الدكتور كلاوبونى — فى قصة جول فيرن « رحلات الكابتن هاتيراس » — على اشعال النار ، عندما فقد السياح الزناد ، ووجدوا انفسهم بلا نار ؛ فى جو قارص البرد حيث بلغت درجة الحرارة — ٤٨° مئوية .

« قال هاتيراس مخاطبا الدكتور :

— انها نكبة .

فاجابه الدكتور :

— نعم

— ولا يوجد لدينا حتى انبوب بصرى ، لكى نخلع عدسته ونشعل بواسطتها النار .

فاجابه الدكتور :

– اعرف ذلك ، وانا متأسف جدا لهذا الامر ، اذ ان اشعة الشمس قوية ، بما فيه الكفاية لاشعال الصوفان * .

فردّ هاتيراس قائلا :

– سنضطر الى اكل لحم الدب النيء للتغلب على الجوع ؟

فقال الدكتور متأملا :

– نعم ، عند الحاجة القصوى . ولكن لماذا لا ...



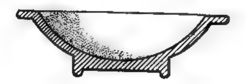
شكل ١١٣ : « ركز الدكتور اشعة الشمس على الصوفان » .

---

* الصوفان مادة اسفنجية تستخدم في الجراحة ولاخراج النار من حجر القدح (المعرب)

فأستدرجه هاتيراس قائلا :
ـ ماذا خطر ببالك ؟
ـ لقد اتتنى فكرة ..
فهتف رئيس النوتية متعجبا :
ـ فكرة؟ .. اذا اتتك فكرة ، فذلك يعنى انك ستنقذنا !
فاجابه الدكتور مترددا :
ـ لست ادرى الى اى مدى ستتحقق فكرتى .
فسأله هاتيراس :
ـ وما هى فكرتك ؟
ـ اننا لا نملك عدسة ، ولكننا سوف نصنعها الآن .
فسأله رئيس النوتية بفضول :
ـ وكيف سنفعل ذلك ؟
ـ سوف ننحتها من قطعة من الجليد .
ـ وهل تعتقد ان ...
ـ ولم لا ؟ فكل ما نحتاجه هو تجميع اشعة الشمس فى نقطة واحدة ، ولاجل ذلك ، يمكن الاستعاضة عن البلّور بالجليد . ولكننى افضل قطعة الجليد المكونة من الماء العذب ، لانها اقوى واكثر صفاء .

وهنا قال رئيس النوتية وهو يشير الى كتلة جليدية تقع على بعد مائة خطوة منهم :
ـ ان هذه الكتلة الجليدية ، اذا لم اكن مخطئا ، هى التى تفى بحاجتك بالضبط ، وذلك حسبما يظهر من لونها .



شكل ١١٤ : فنجان يستخدم لصنع العدسات الجليدية .

ــ انت على حق ، تناول فأسك . هيا معي ايها الاصدقاء .

وتوجه الرجال الثلاثة الى الكتلة الجليدية المشار اليها . وقد ظهر بالفعل ، ان الجليد مكون من الماء العذب .

واوصى الدكتور باقتطاع قطعة من الجليد ، يبلغ قطرها قدما واحدا ، ثم بدأ يهذّبها بالفأس . وبعد ذلك سوّاها بالسكين ، واخيرا صقلها تدريجيا باليد . وتكونت لديه عدسة شفافة ، كأنّها مصنوعة من انقى البلّور . وكانت الشمس ساطعة تماما ، عندما عرض الدكتور عدسته لاشعتها ، وركزّها على الصوفان . وبعد عدة ثوان ، اشتعلت النار في الاخير » .

ان قصة جول فيرن هذه ، ليست خيالية بصورة تامة ، اذ ان تجربة اشعال النار في الخشب ، بواسطة عدسة من الجليد ، تمّت لاول مرة بنجاح في انكلترا ، وذلك باستخدام عدسة كبيرة جدا في عام ١٧٦٣ . وبعد ذلك ، أخذت تعاد التجربة باستمرار وبنجاح تام . وبالطبع ، من الصعب صنع عدسة شفافة من الجليد ، باستخدام مثل هذه الادوات ، كالفأس والسكين واليد (عند درجة حرارة تصل الى ٤٨ ° تحت الصفر) ، ولكن يمكن صنع عدسة من الجليد بطريقة اسهل : نصب الماء في قدح له نفس شكل العدسة المطلوبة ، ثم نجمده ، ونسخن القدح قليلا ، ونخرج منه العدسة الجاهزة .

المساعدة الناجمة عن اشعة الشمس

يمكن بمساعدة اشعة الشمس ، القيام بتجربة اخرى سهلة الانجاز ، في البلاد التي يوجد فيها ثلج في الشتاء . نأخذ قطعتين متساويتين من القماش ، احداهما بيضاء والاخرى سوداء ، ونضعهما على الثلج الموجود تحت الشمس . واذا عدنا بعد ساعة او ساعتين ، فسنرى ان القطعة السوداء قد غاطت في الثلج ، بينما بقيت القطعة البيضاء على نفس المستوى السابق . ان البحث عن اسباب هذا الاختلاف ليس صعبا :

ان الثلج الموجود تحت القطعة السوداء ، يذوب بسرعة اكبر ، وذلك لان القماش الاسود يمتص القسم الاكبر من اشعة الشمس الساقطة عليه . اما القطعة البيضاء ، فعلى

عكس ذلك ، تشتت اشعة الشمس . ولهذا تسخن بدرجة اقل من سخونة القطعة السوداء . ان اول من قام باجراء هذه التجربة التعليمية ، هو المناضل البارز في حركة استقلال الولايات المتحدة الامريكية ، بنيامين فرانكلين ، الذي خلّد نفسه كفيزيائي ، باختراعه لموّصل الصواعق . وقد كتب حول ذلك ما يلي :

« لقد اخذت من الخياط عدة قطع مربعة من الجوخ ، بالوان متنوعة ، منها الاسود والازرق الداكن والازرق الفاتح والاخضر والارجواني والاحمر والابيض ، والوان اخرى متنوعة . وفي احد الايام الساطعة ، وضعت جميع هذه القطع على الثلج . وبعد عدة ساعات ، رأيت ان القطعة السوداء ، التي سخنت اكثر من البقية ، قد غاصت عميقا في الثلج بحيث لم تعد تصلها اشعة الشمس ، وقد غاصت القطعة الزرقاء الداكنة الى نفس عمق القطعة السوداء تقريبا ، اما القطعة الزرقاء الفاتحة ، فقد غاصت الى عمق يقل كثيرا عما سبق . اما القطع الباقية ، فقد غاصت الى اعماق ، تقل كلما كان اللون فاتحا اكثر . اما القطعة البيضاء فقد بقيت على السطح ، اي لم تغط مطلقا » . ثم يستمر في حديثه وهو يتساءل بعجب :

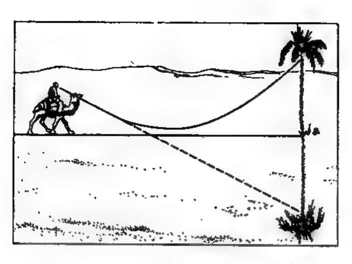
« ما الفائدة من النظرية ، اذا لم نستطع الاستفادة منها عمليا ؟ وهل اننا لا نستطيع ان نستنتج من هذه التجربة ، ان الثوب الاسود اقل ملاءمة لنا ، من الثوب الابيض ، في الجو المشمس الدافئ ، وذلك لانه يسخن اجسامنا في الشمس ، اكثر مما يسخنها الثوب الابيض ؟ واذا كنا عند ذلك سنقوم ببعض الحركات التي تسخن اجسامنا بالذات ، فعندئذ تتولد حرارة زائدة . الا يجب ان تكون القبعات الرجالية والنسائية الصيفية ، بيضاء اللون ، لكي تبعد ذلك الحر ، الذي يسبب لبعض الناس ، الاصابة بضربة الشمس ؟... وبالاضافة الى ذلك ، الا يمكن للجدران السوداء خلال النهار ، ان تمتص كمية من حرارة الشمس ، بحيث تحتفظ ليلا بقسم منها ، وتبقى دافئة نوعا ما لتحفظ الفواكه من البرد ؟ الا يستطيع المراقب الدقيق ، ان يستنتج او يجد بعض الحالات الاخرى ، التي يمكن الاستفادة منها كثيرا او قليلا ؟ » .

اما هذه الاستنتاجات والفوائد ، فقد اتضحت خلال البعثة الالمانية الى القطب الجنوبي ، على ظهر السفينة « هاوس » عام ١٩٠٣ . لقد انحصرت السفينة في الجليد ولم تفلح كافة المحاولات التي بذلت لاخراجها من هناك . اما المواد المتفجرة والمناشير التي استخدمت في العملية ، فلم تبعد سوى عدة مئات من الامتار المكعبة من الجليد ، ولم تخلّص السفينة من المأزق . عندئذ لجأ افراد البعثة الى استخدام اشعة الشمس : وضعوا على الجليد شريطا من الرماد والفحم الحجري ، طوله ٢ كم وعرضه عشرة امتار ، يمتد من السفينة الى اقرب شق عريض في الجليد . حدث ذلك في ايام الصيف المشمسة الطويلة عند القطب ، حيث قامت اشعة الشمس بعمل لم تقم به المتفجرات والمناشير . لقد ذاب الجليد ، وتحطم على امتداد الشريط المذكور ، وبذلك تحررت السفينة من الجليد الذي كان يحصرها .

السراب

ربما يعرف كافة القراء ، كيف يمكن تعليل نشوء السراب العادي من الناحية الفيزيائية . ان رمل الصحراء المتوهج بتأثير القيظ ، يكتسب نفس خواص المرآة ، لان كثافة طبقة الهواء الساخنة القريبة منه ، اقل من كثافة الطبقات العليا . وعند وصول شعاع الضوء المنبعث من احد الاجسام البعيدة ، الى هذه الطبقة من الهواء ، يتقوس في داخلها ، بحيث يبتعد بعد ذلك عن سطح الارض ويصل الى عين المسافر ، وكأنه منعكس على سطح مرآة بزاوية سقوط كبيرة جدا . ويبدو عندئذ للمسافر ، انه يرى امامه سطح الماء الهادئ وقد امتد في الصحراء ، فانعكست على صفحته صور الاجسام الموجودة على الشاطئ (شكل ١١٥) .

وبالمناسبة ، كان من الاصح ان نقول بان طبقة الهواء الساخنة ، الموجودة بالقرب من الرمل المتوهج ، لا تعكس الاشعة مثلما تعكسها المرآة ، ولكن مثلما يعكسها سطح الماء ، عندما ننظر اليه من الاعماق . ان ما يحدث في هذه الحالة ، ليس مجرد انعكاس ، انما يحدث ما يسمى بلغة الفيزياء بـ « الانعكاس الكلّي » . ولكي يحدث هذا



شكل ١١٥ : كيف ينشأ السراب في الصحراء ؟ ان هذا الشكل الذي يطالعنا عادة في الكتب المدرسية ، يبين بصورة مبالغ فيها ، طريق شعاع الضوء المائل على الارض .

الانعكاس ، يجب ان يكون الشعاع الداخل في طبقات الهواء ، مائلا جدا — اكثر من الميل الذي هو عليه في الشكل المبسط ١١٥ . وفيما عدا ذلك ، سوف لا تتكون لدينا « الزاوية الحرجة » لسقوط الشعاع ، التي لا يحدث بدونها انعكاس كلي .

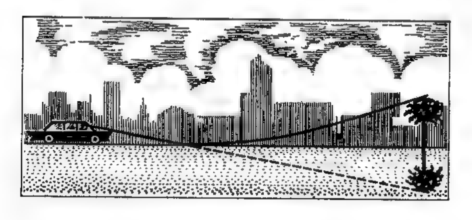
وهنا تجدر الاشارة الى نقطة واحدة من هذه النظرية ، يمكنها ان تحدث التباسا عند القارئ ، وهي ان التفسير المذكور ، يتطلب ان تكون الطبقات الهوائية الكثيفة ، اعلى من الطبقات التي تقل عنها كثافة . ولكننا نعلم ان الهواء الكثيف والثقيل ، يحاول دائما الهبوط الى الاسفل وازاحة طبقة الغاز الخفيفة الموجودة تحته ، الى الاعلى . كيف يمكن ان توجد هذه الوضعية لطبقات الهواء الكثيف والمخلخل ، التي لا بد منها لظهور السراب ؟

ان الجواب على هذا السؤال ، يتلخص في ان الوضعية المطلوبة لطبقات الهواء ، لا تتحقق عند سكون الهواء ، ولكنها تتحقق عند وجود الهواء المتحرك . ان طبقة الهواء المسخنة بحرارة الارض ، لا تبقى ساكنة على الارض ، ولكنها تنزاح الى الاعلى باستمرار ،

6 Зак 15662

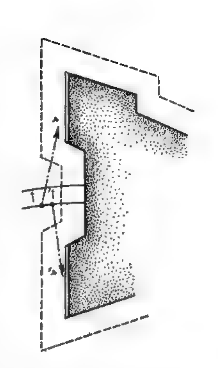
وتستبدل حالاً بطبقة جديدة من الهواء الساخن . والتبديل المستمر ، يجعل الرمل المتوهج على اتصال دائم بطبقة ما من الهواء المخلخل ، ولتكن مختلفة الانواع ، لان هذا لا يؤثر على سير الاشعة .

ان نوع السراب قيد البحث ، معروف منذ قديم الزمان . ويسمى فى علم الارصاد الجوية الحديث بالسراب السفلى (وذلك لتمييزه عن السراب العلوى ، الذى ينشأ نتيجة لانعكاس اشعة الضوء فى طبقات الهواء المخلخل ، فى الاجواء العليا) . ويعتقد اكثر الناس ، بان هذا السراب الكلاسيكى لا يظهر الا فى الصحارى الجنوبية الحارة ، ولا يمكن ظهوره مطلقا ، فى المناطق الواقعة على خطوط العرض الشمالية . وهذا غير صحيح ، لاننا كثيرا ما نلاحظ السراب السفلى فى المناطق الشمالية . ويكثر حدوث مثل هذه الظواهر ، وبصورة خاصة فى ايام الصيف ، على الطرق المبلطة والمعبدة بالاسفلت التى تسخن بشدة بتأثير الشمس ، وذلك بفضل لونها الاسود . عندئذ يبدو سطح الطريق المعتم من بعيد ، وكأنه مغطى بالمياه ، ويعكس الاجسام البعيدة . ان سير اشعة الضوء ، فى حالة نشوء مثل هذا السراب ، مبّين فى الشكل ١١٦ . وعند المراقبة الكافية ، يمكن مشاهدة مثل هذه الظواهر ، عدة مرات ، لا نادرا ، كما يعتقد الناس .



شكل ١١٦ : السراب على احد الطرق المبلطة .

ويوجد نوع آخر من السراب ، وهو السراب الجانبي ، الذى لا يشك احد في وجوده . وهذا السراب هو انعكاس لاحد الجدران العمودية الساخنة . وقد أتى على وصفه احد المؤلفين الفرنسيين . فعند اقترابه من طابية القلعة ، لاحظ ان الجدار الخرساني المسطح للطابية ، بدأ يلمع فجأة مثل المرآة ، وقد انعكس فيه المنظر الطبيعي بما فيه الارض والسماء . وعند تقدمه عدة خطوات الى الامام ، لاحظ نفس التغيّر وقد طرأ على الجدار الآخر للطابية . وبدا له وكانّ السطح الرمادى غير المنتظم ، قد تحول فجأة الى سطح لماع . كان يوما قائظا ، أدى الى تسخن الجدران بشدة ، وكان هذا هو السبب الذى جعل الجدران تلمع .



شكل ١١٧ : المسقط الافقى لجدارى القلعة ، حيث لوحظ السراب. ان الجدار هـ يبدو صقيلا من النقطة آ ، اما الجدار هـ' فيبدو صقيلا من النقطة أ' .

ويبيّن الشكل ١١٧ وضعية جدارى الطابية (هـ و هـ') وموقع المراقب الفرنسي (أ وأ') . وقد اتضح ان السراب يظهر كلما سخّنت اشعة الشمس الجدار تسخينا كافيا . وقد امكن تصوير هذه الظاهرة والحصول على صورتها الفوتوغرافية .

ويبين الشكل ١١٨ الجدار هـ (الى اليسار) ، وهو في البداية اربد ، ثم يبدو بعد ذلك (الى اليمين) وهو يلمع مثل المرآة (التقطت الصورة من النقطة أ') . وفى الصورة اليسرى — يبدو الجدار الخرساني الرمادى بشكل طبيعى ، ولا يمكن ان تنعكس فيه صورتا الجنديين الواقفين بالقرب منه . وفى الصورة اليمنى ، يبدو القسم الاكبر من الجدار ، وهو يلمع مثل المرآة ، وقد انعكست فيه صورة الجندى الواقف بالقرب منه .

وبالطبع ، فان الذى يعكس الاشعة هنا ، ليس سطح الجدار ، وانما طبقة الهواء الساخن ، الملاصقة له .

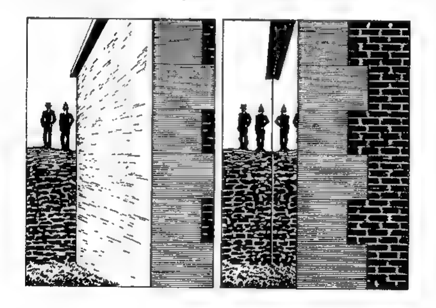
واذا راقبنا جدران المبانى الكبيرة ، التى تتوهج فى ايام الصيف القائظة ، لرأينا بلاشك ان عدد حالات ظهور السراب ، سيزداد بشكل محسوس .

«الشعاع الاخضر»

« هل سبق للقارئ ان قام بمراقبة الشمس وهى تغيب وراء افق البحر ؟

نعم ، بلا شك . وهل تتبع القارئ قرص الشمس ، حتى اللحظة التى تصبح فيها حافة القرص العليا ، ملامسة لخط الافق ، ثم يختفى نهائيا ؟

ان هذا امر محتمل حسبما اعتقد . ولكن هل لاحظ القارئ تلك الظاهرة ، التى تحدث عندما يرسل الكوكب المتألق ، آخر شعاع له ، خاصة اذا كانت السماء عند



شكل ١١٨ : وفجأة يتحول الجدار الرطب الخشن (الى اليسار) ، الى جدار صقيل عاكس (الى اليمين).

ذلك خالية من الغيوم وصافية تماما ؟ من المحتمل الا يكون القارئ قد لاحظ ذلك . وننصح القارئ الا يدع الفرصة تفوته ، وان يحاول القيام بهذه المراقبة ، وسيرى عندئذ بدل الشعاع الاحمر ، شعاعا بلون اخضر بديع ، لا يمكن لأى رسام ان يأتى بمثله ، ولا يوجد شبيه له حتى فى الوان كافة انواع النباتات الموجودة فى الطبيعة ، او فى لون البحر الصافى » .

ان هذه الملاحظة التى ظهرت فى احدى الصحف الانجليزية ، اثارت حماس بطلة قصة جول فيرن « الشعاع الاخضر » ، وجعلتها تقوم بعدد من الرحلات لغرض واحد فقط ، هو روءية الشعاع الاخضر بالعين المجردة . ومع ان الفتاة الاسكتلندية ، كما جاء فى القصة ، لم تفلح فى روءية هذه الظاهرة الطبيعية البديعة ، الا ان ذلك لا ينفى وجود تلك الظاهرة .

ان الشعاع الاخضر ليس اسطورة، ولو انه على صلة بكثير من الحوادث الاسطورية. انه عبارة عن ظاهرة طبيعية ، تدخل البهجة على نفس كل من يحب الطبيعة ، اذا حاول ان يبحث عنها بصبر واناة .

لماذا يظهر الشعاع الاخضر ؟

سنفهم سبب ذلك ، اذا تذكرنا باى شكل تظهر الاجسام امام اعيننا ، اذا نظرنا اليها من خلال موشور زجاجى . نقوم باجراء التجربة التالية : نضع الموشور امام العين بصورة افقية ، بحيث يكون اتجاه جانبه العريض الى الاسفل ، وننظر من خلاله الى قطعة من الورق ، ملصقة على الجدار . سنلاحظ اولا ، ان قطعة الورق قد ارتفعت كثيرا عن مستواها الحقيقى ، وثانيا ، ظهرت فى اعلاها حاشية بنفسجية — زرقاء ، وفى اسفلها حاشية صفراء — حمراء . ان الارتفاع المذكور يعتمد على انكسار الضوء ، اما الحواشى الملونة ، فتعتمد على تشتيت الزجاج للضوء ، اى قابلية الزجاج لكسر الاشعة المختلفة الالوان ، كسرا مختلفا . ان الاشعة البنفسجية والزرقاء ، تنكسر اشد من غيرها ، ولذلك نشاهد فى الاعلى حاشية بنفسجية — زرقاء ، اما الاشعة الحمراء ، فهى اضعف انكسارا من البقية ، ولذلك تبدو الحاشية السفلى للورقة ، حمراء اللون .

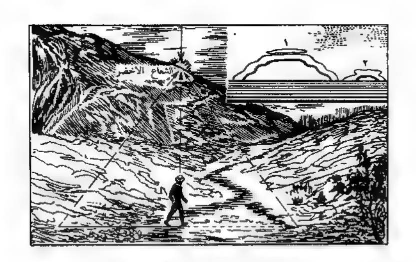
ولكى نفهم الحقائق الاخرى بصورة اوضح ، يجب التوقف هنا لشرح مصدر تلك الحواشي الملونة . ان الموشور يحلل الضوء الابيض المنبعث من الورقة ، الى كافة الوان الطيف الشمسي ، ويعطى عدة صور ملونة لقطعة الورق ، تكون في الغالب مركبة فوق بعضها ، ومرتبة حسب نظام الانكسار . ونتيجة للتأثير الموحد لهذه الصور الملونة ، المركبة فوق بعضها ، ترى العين اللون الابيض (تركيب الالوان الطيفية) ، ولكن تظهر في الاعلى والاسفل ، حاشيتان من الالوان غير المختلطة . ان الشاعر الالماني والعالم الطبيعي المشهور غوته ، الذى عاش فى القرن الثامن عشر ، قام باجراء هذه التجربة ولم يفهم معناها الحقيقي ، فتصور انه فضح بذلك بطلان نظرية نيوتن المتعلقة بالالوان ، وكتب بعد ذلك بحثا خاصا عن « علم الالوان » . وقد كان البحث برمته تقريبا ، مبنيا على تصورات خاطئة . والمفروض من القارئ ، الا يسير في متاهات الشاعر العظيم ، ولا يتوقع ان يعمل الموشور على تلوين كافة الاشياء .

ان جو الارض يبدو امام اعيننا وكأنه موشور هوائي هائل ، تتجه قاعدته الى الاسفل . وعندما ننظر الى الشمس عند الافق ، فاننا نراها من خلال ذلك الموشور الهوائي . وتظهر على الحافة العليا لقرص الشمس ، حاشية ملونة باللونين الازرق والاخضر ؛ وعلى الحافة السفلى ، حاشية ملونة باللونين الاحمر والاصفر . وحينما تنتصب الشمس فوق الافق ، فان لون القرص الساطع ، يطغى على بقية الالوان التى تقل عنه وضوحا بكثير ، ولذلك فاننا لا نراها مطلقا . ولكن في لحظات الشروق والغروب ، عندما يكون قرص الشمس مختفيا تقريبا وراء الافق ، يمكننا رؤية الحاشية الزرقاء للحافة العليا . وتكون ذات لونين : في الاعلى يوجد شريط ازرق ، وفى الاسفل شريط سماوى اللون ، ناتج عن امتزاج الاشعة الزرقاء والخضراء . وعندما يكون الهواء القريب من الافق ، نقيًا خالصا وشفافا ، تظهر الحاشية الزرقاء — « الشعاع الازرق » . ولكن غالبا ما يتشتت الشعاع الازرق فى الجو ، وتبقى الحاشية الخضراء وحدها ، اى تحدث ظاهرة « الشعاع الاخضر » . واخيرا ، ففي اكثر الحالات ، يتشتت كذلك ، الشعاعان الازرق والاخضر ، في طبقات الجو الكدرة ، وفى هذه الحالة لا تظهر اية حاشية ، اذ تغلف الشمس بكرة ارجوانية .

ان العالم الفلكي السوفييتي تيخوف ، الذى قام ببحث خواص ظاهرة « الشعاع الاخضر » ، يذكر لنا بعض علامات روءية تلك الظاهرة : « اذا كان لون الشمس عند الغروب احمر ، وكان من السهل علينا ان ننظر اليها بالعين المجردة ، يمكننا عندئذ ان نؤكد بان « الشعاع الاخضر » لن يظهر » . والسبب هنا واضح : ان اللون الاحمر لقرص الشمس ، يدل على شدة تشتت الاشعة الزرقاء والخضراء فى الجو ، اى تشتت الحاشية العليا للقرص برّمتها . ثم يستمر تيخوف فى حديثه : « وعلى عكس ذلك ، اذا غيرت الشمس قليلا ، من لونها الطبيعي الاصفر المائل الى البياض ، ومالت الى المغيب وهى متألقة جدا ــ اى اذا كان الجو لا يمتص كثيرا من الضوء ــ ، يمكننا عندئذ ان نتوقع الى درجة كبيرة ، ظهور « الشعاع الاخضر » . والشيء المهم هنا بالضبط ، ان يكون الافق خطا مستقيما متميزا ، اى بدون وجود نتوءات ، مثل غابة قريبة او بنايات وغير ذلك . وهذه الشروط تتحقق على خير وجه ، عند البحر ، ولهذا السبب ، يعرف البحارة الشعاع الاخضر ، معرفة جيدة » .

وهكذا ، فلكي نرى « الشعاع الاخضر » يجب مراقبة الشمس عند غروبها او شروقها ، حينما تكون السماء صافية جدا . وفى البلاد الجنوبية ، تكون السماء عند الافق، اكثر صفاء مما هى عليه فى البلاد الشمالية . ولهذا السبب ، فان « الشعاع الاخضر » يظهر فى الجنوب اكثر من ظهوره فى الشمال . ولا يكون ظهوره نادرا عند خطوط العرض المتوسطة ، كما يفكر الكثير من الناس ، الذين يحتمل ان يكونوا متأثرين بقصة جول فيرن . ان من يبحث عن « الشعاع الاخضر » بروح المثابرة ، فانه سيراه عاجلا ام آجلا. وقد تمكن البعض من مشاهدة هذه الظاهرة البديعة ، بواسطة المنظار . وقد وصف هذه الظاهرة ، عالمان فلكيان من مقاطعة الالزاس فى المانيا ، على الشكل التالى :

« خلال الدقيقة الاخيرة التى تسبق غروب الشمس ، عندما يكون قسم كبير من قرصها ما زال واضحا ، وله حدود موجية الحركة ، حادة الملامح ، وهو محاط بحاشية خضراء ، وما دامت الشمس لم تغب نهائيا بعد ، فلا يمكن روءية تلك الحاشية بالعين المجردة . ويمكن روءيتها فى حالة واحدة فقط ، هى عندما تختفى الشمس



شكل ١١٩ : مراقبة « الشعاع الاخضر » لمدة طويلة ، حيث شاهد المراقب « الشعاع الاخضر » وراء السلسلة الجبلية لمدة خمس دقائق بكاملها . اعلى الشكل الى اليمين — « الشعاع الاخضر » كما يرى من خلال الانبوب البصرى . ويكون لمحيط قرص الشمس شكل غير منتظم . وفى الحالة (١) يؤدى لمعان قرص الشمس الى اعماء العين فيحول بذلك دون رؤية الحاشية الخضراء بالعين المجردة . اما فى الحالة (٢) ، عندما يختفى قرص الشمس تقريبا ، فيمكن رؤية « الشعاع الاخضر » بالعين المجردة .

كليا وراء الافق . فاذا نظرنا بمنظار يكبر الاشياء الى درجة كبيرة (بحوالى ١٠٠ مرة) ، لتمكنا من مراقبة جميع الظواهر بالتفصيل : ان آخر وقت تظهر فيه الحاشية الخضراء ، يكون قبل غروب الشمس بعشر دقائق ، وتحيط الحاشية الخضراء بالقسم العلوى للقرص ، فى الوقت الذى تظهر فيه حاشية حمراء فى القسم السفلى منه . ويكون عرض الحاشية فى اول الامر صغيرا جدا (عدة ثوان من القوس فقط) ، ويزداد كلما توغلت الشمس وراء الافق ، حتى يصل فى بعض الاحيان الى نصف دقيقة من القوس . وكثيرا ما تلاحظ فوق الحاشية الخضراء نتوءات خضراء ايضا ، تبدو عند اختفاء الشمس تدريجيا ، وكأنها تزحف على حافتها الى نقطة اعلى ، واحيانا تنفصل عن الحاشية وتتألق لعدة ثوان بصورة مستقلة الى ان تنطفئ (شكل ١١٩) .

وعادة ، تستغرق هذه الظاهرة ، ثانية او ثانيتين من الوقت . ولكن في بعض الحالات الاستثنائية ، تستغرق اكثر من ذلك بكثير . وهناك حالة ، دائم فيها ظهور « الشعاع الاخضر » ، اكثر من خمس دقائق ! اختفت الشمس وراء الجبال البعيدة ، ولاحظ المراقب السريع الخطى ، الحاشية الخضراء لقرص الشمس ، وكأنها تنحدر من قمة الجبل الى اسفله (شكل ١١٩) .

واحسن حالات مراقبة « الشعاع الاخضر » تتوفر عند شروق الشمس ، حينما تبدأ حافة الشمس العليا بالظهور من تحت الافق . وهذا يدحض الظنون القائلة بان « الشعاع الاخضر » ما هو الا خداع البصر ، الذى تستسلم له العين وهى مصابة بالاعياء نتيجة لتأثير البريق الساطع ، للشمس التى غابت للتو .

وليست الشمس بالكوكب الوحيد ، الذى يرسل « الشعاع الاخضر » ، فقد لوحظت هذه الظاهرة ، عند انبعاثها من كوكب الزهرة ، وهو يميل الى المغيب .

الفصل التاسع | الابصار

قبل الاهتداء الى التصوير الضوئى

لقد اصبح التصوير الضوئى فى حياتنا اليومية ، امرا عاديا جدا ، بحيث لا يمكننا ان نتصور كيف استطاع احدادنا ، حتى القريبين منهم ، ان يستغنوا عنه. ويحدثنا الكاتب الانكليزى تشارلز ديكنز في مؤلفه المعنون « يوميّات بيكويك » ، كيف تم طبع الملامح الخارجية لاحد الاشخاص فى احدى المؤسسات الحكومية فى انجلترا ، قبل مائة سنة . تجرى الحوادث فى احد السجون ، التى اقتيد اليها بيكويك .

واخبروا بيكويك ، بان عليه ان ينتظر الى ان تلتقط له صورة .

وصاح بيكويك بدهشة :

« ــ تلتقط لى صورة !

فاجابه السجّان القوى البنية :

ــ صورة تشبهك تماما ياسيدى ، يجب ان تعلم باننا اساتذة فى فن التقاط الصور! فقبل ان تنتهى من ادارة وجهك ، ستكون الصورة جاهزة . اجلس يا سيدى واطمئن تماما .

استجاب بيكويك للدعوة فجلس . وعندئذ همس صموئيل (خادم بيكويك) فى اذنه واخبره بان عبارة « التقاط صورة » ، تحمل هنا معنى مجازيا :

ــ ان هذه العبارة يا سيدى ، تعنى بان السجانين سيتفحّصون وجهك مليّا ، لكى يميزّونك عن الزوّار .

وبدأت العملية . القى السجان البدين نظرة لاأبالية على بيكويك ، بينما وقف

صاحبه قبالة السجين الجديد وراح ينظر اليه نظرة ثاقبة . اما الرجل الثالث ، فقد وقف امام وجه بيكويك تماما ، وأخذ يتفرس فى ملامحه بانتباه شديد .

واخيرا التقطت الصورة ، واخبروا بيكويك بانه يستطيع الآن الذهاب الى السجن » .

وقبل ذلك الوقت ، كانت « جداول » العلامات الفارقة ، تقوم بدور هذه « الصور » العالقة بالذاكرة . ويحدثنا الشاعر بوشكين فى روايته « بوريس جدونوف » ، كيف وصفوا جريجورى اوتريبيف فى مرسوم القيصر : « قصير القامة ، عريض المنكبين ، احدى يديه اقصر من الاخرى ، عيناه زرقاوان ، شعره احمر ، توجد على خده ثؤلولة واحدة . وعلى جبينه ثؤلولة اخرى» . اما فى هذا الوقت ، فيكفى وضع الصورة فقط .

ما الذى لا يستطيع ان يفعله الكثير ؟

لقد وصل التصوير الضوئى الى روسيا فى اربعينيات القرن الماضى ، وكان فى بادئ الامر على هيئة ما يسمى بـ « التصوير الشمسى على الواح معدنية » . وقد كانت طريقة هذا التصوير غير مريحة ، وذلك لضرورة الجلوس امام آلة التصوير وقتا طويلا ، بلا حراك — لعدة عشرات من الدقائق :

ويحدثنا عن ذلك ، العالم الفيزيائى اللينينغرادى ، البروفيسور فاينبرج : « لقد جلس جدّى امام آلة التصوير الشمسى على الالواح المعدنية ، حوالى اربعين دقيقة ، للحصول على صورة واحدة فقط ، لا يمكن مضاعفتها ! » . ومع ذلك ، فقد كانت امكانية الحصول على صورة دون الاستعانة برسام ، شيئا جديدا يدعو الى العجب ، حيث لم يتعود الناس عليه الا بعد مرور وقت طويل .

وهناك قصة طريفة نشرت فى احدى المجلات الروسية القديمة عام ١٨٤٥ ، وهى تتطرق الى هذا الموضوع : « ان الكثير من الناس حتى يومنا هذا ، لا يريد ان يصدق بان آلة التصوير تشتغل ذاتيا . فقد قدم احد الوجهاء الى المـُصور ، وطلب التقاط صورة له . فاجلسه المصور على الكرسى ، وضبط عدسة الجهاز ، ووضع اللوح المعدنى ، ثم نظر الى ساعته وخرج . وطوال الوقت الذى كان فيه المصور فى الغرفة ، كان الوجيه

يجلس بلا حراك ، ولكن ما ان خرج المصور من الغرفة ، حتى اعتقد الوجيه بانه لا داعي بعد ذلك للجلوس بسكون ، فنهض عن الكرسي ، وبدأ ينشق التبغ ويتفحص آلة التصوير من كافة الجهات ، وقرب عينه من العدسة ثم هز رأسه وتمتم قائلا : « آلة ماهرة الصنع ! » وأخذ يذرع ارض الغرفة جيئة وذهابا .

ولما عاد المصور ، توقف عند الباب مندهشا ، وصاح في الوجيه قائلا :

ـ ماذا تفعل ؟ لقد رجوتك ان تجلس بلا حراك !

ـ لقد جلست ، ولم انهض الا عند مغادرتك للغرفة .

ـ كان يجب ان تجلس طوال هذا الوقت .

ـ ولماذا يجب ان اجلس بدون فائدة ؟

وقد يبدو للقارئ اننا في الوقت الحاضر قد ابتعدنا عن كافة الافكار الساذجة ، المتعلقة بالتصوير . ولكن في هذا الوقت ايضا ،نرى ان معظم الناس ، لم يستوعبوا بعد فهم التصوير ، فهما دقيقا ، وبهذه المناسبة ، فان قليلا من الناس فقط ، يعرف كيف يجب ان ننظر الى الصورة الجاهزة . هل يعتقد القارئ ان هذا الامر بسيط ، ولا يحتاج الى معرفة سوى تناول الصورة باليد والنظر اليها ؟ ! ان الامر ليس بهذه السهولة مطلقا : ان الصور الفوتوغرافية ، هي من الاشياء المستعملة في حياتنا اليومية ، وبالرغم من انتشارها الواسع ، فاننا لا نستطيع الى الآن ان ننظر اليها بصورة صحيحة . ان اكثر المصورين ، المحترفين منهم والهواة ـ ناهيك عن سائر الجماهير ـ ينظرون الى الصور الفوتوغرافية ، بطريقة تختلف تماما عما يجب ان تكون عليه . ان التصوير الضوئي معروف منذ قرن من الزمن تقريبا ، ومع ذلك فان كثيرا من الناس لا يعرف على وجه الخصوص ، كيف يجب ان ننظر الى الصور الفوتوغرافية .

كيف يجب ان ننظر الى الصور الفوتوغرافية ؟

ان تركيب آلة التصوير ، مبني على نفس مبدأ تركيب العين . والشكل الذي يظهر على زجاجها المسنفر ، يعتمد على المسافة بين العدسة والجسم المراد تصويره . ان آلة

التصوير تطبع على اللوح ، المنظر العام الذى يظهر امام العين (العين الواحدة فقط !) ، التى تحل محل العدسة . وينتج من ذلك ، اننا اذا اردنا ان تعطى الصورة الفوتوغرافية ، نفس الانطباع البصرى ، الذى تعطيه الطبيعة بالذات ، فيجب علينا :

١) ان ننظر الى الصورة الفوتوغرافية بعين واحدة فقط ،

٢) ان نبعد الصورة عن العين ، مسافة مناسبة .

شكل ١٢٠ : الاصبع كما يبدو لكل من العينين اليسرى واليمنى ، عندما يوضع قريبا من الوجه .

وليس من الصعب ان نفهم ، باننا عندما ننظر الى الصورة بعينينا الاثنتين ، فلا بد ان نرى امامنا صورة مسطحة ، لا صورة مجسمة . وهذا ناتج بالضرورة ، عن خواص الابصار عندنا . وعندما ننظر الى جسم صلب ، فان صورته المتكونة فى شبكية العين اليسرى ، تختلف عن صورته المتكونة فى شبكية العين اليمنى (شكل ١٢٠) . ان هذا الاختلاف ، هو فى الواقع السبب الرئيسى الذى يجعل الاجسام تظهر امامنا مجسمة . ان عقلنا يقوم بدمج هاتين الصورتين المختلفتين ، فى صورة مجسمة واحدة (وعلى هذا الاساس ، كما هو معروف ، تم تركيب جهاز الاستريوسكوب) .

ويختلف الامر اذا نظرنا الى جسم مسطح ، سطح الجدار مثلا ، عندئذ تتكون فى كلتا العينين ، صورتان متشابهتان تماما . وهذا التشابه ، يكون بالنسبة للعقل ، بمثابة دلالة تشير الى الامتداد السطحى للجسم .

والآن ، اتضح الخطأ الذى نقع فيه ، عندما ننظر الى الصور بكلتا العينين . اذ اننا بذلك ، نجعل عقلنا يتصور بان امامه صورة مسطحة بالذات ! وحينما نعرض امام العينين ، صورة مخصصة لعين واحدة فقط ، فاننا نمنع انفسنا من رؤية المنظر الموجود فى الصورة ، على حقيقته ، وهكذا نفسد الصورة ، التى تلتقطها آلة التصوير باتقان تام .

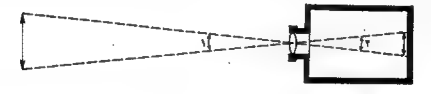
الى اية مسافة يجب ابعاد الصورة عن العين ؟

ان القاعدة الثانية ، المذكورة سابقا – ابعاد الصورة عن العين بمسافة مناسبة ، هي قاعدة مهمة ايضا . وفي حالة عدم مراعاتها ، يختل المنظر العام الصحيح .

الى اية مسافة اذن ، يجب ابعاد الصورة عن العين ؟

للحصول على انطباع كليّ ، يجب ان ننظر الى الصورة ، من نفس زاوية الابصار ، التي نسخت العدسة منها صورة الجسم ، على الزجاج المستفر لآلة التصوير . او من نفس الزاوية ، التي « نظرت » العدسة منها الى الجسم (شكل ١٢١) . وينتج من ذلك ، اننا يجب ان نبعد الصورة عن العين ، بمسافة تقل عن المسافة التي يبعد بها الجسم عن العدسة ، بعدد المرات التي يقل فيها حجم الصورة عن حجم الجسم الطبيعي . وبعبارة اخرى . يجب ابعاد الصورة عن العين ، مسافة مساوية تقريبا للبعد البؤري للعدسة .

واذا أخذنا في الاعتبار ، ان البعد البؤري في اكثر آلات التصوير الخاصة بالهواة . يتراوح بين ١٢ – ١٥ سم * ، لعرفنا باننا لا ننظر الى هذه الصور ابدا ، من مسافة صحيحة البعد عن العين : ان البعد البؤري للعين القوية الابصار (٢٥ سم) ، هو على وجه التقريب ، ضعف البعد البؤري للعدسة المذكورة اعلاه . والصور المعلقة على الحائط ، تبدو مسطحة كذلك – لاننا ننظر اليها من مسافة ابعد .



شكل ١٢١ : في آلة التصوير تكون الزاوية (١) مساوية الزاوية (٢) .

---

* ان المؤلف يقصد بذلك ، آلات التصوير ، بأنواعها التي كانت تستخدم في الوقت الذي تم فيه تأليف هذا الكتاب .

ان الاشخاص المصابين بقصر البصر ، يستطيعون بفضل البعد البؤرى القليل (وكذلك الاطفال ، الذين يتمكنون من الرؤية على مسافة قريبة) ، ان يمتعوا انفسهم بالتأثير الذى تعطيه الصورة العادية ، عند النظر اليها من مسافة مناسبة (بعين واحدة) . وعندما يضعون الصورة على مسافة تتراوح بين ١٢ — ١٥ سم من العين ، فانهم لا يرون امامهم صورة مسطحة ، بل صورة مجسمة ، كما تظهر فى الاستريوسكوب تقريبا .

وآمل ان يتفق القارئ معى الآن ، عندما اقول باننا فى اكثر الحالات ، وبسبب جهلنا بالذات ، لا نستمد من الصور الفوتوغرافية ، تلك المتعة التامة التى توفرها لنا . اذ اننا غالبا ما نشكو عبثا ، من عدم حيوية تلك الصور . ان كل ما فى الامر ، هو اننا لا نضع عيننا فى النقطة الملائمة بالنسبة للصورة ، واننا ننظر بكلتا العينين الى الصورة ، التى يجب النظر اليها بعين واحدة .

التأثير العجيب للعدسة المكبرة

ان الناس المصابين بقصر البصر ، كما اوضحنا آنفا ، يستطيعون بسهولة رؤية الصور العادية ، بهيئة مجسمة . ولكن ماذا يفعل الناس الذين يتمتعون بعيون سليمة ؟ انهم لا يستطيعون تقريب الصورة الى مسافة قريبة جدا من العين ، ولكنهم يستطيعون استخدام العدسة المكبرة . وعندما ينظرون الى الصورة من خلال عدسة بقدرة تكبير مضاعفة ، فانهم يستطيعون بسهولة الحصول على نفس الفوائد التى يحصل عليها المصابون بقصر النظر ، اى يكون باستطاعتهم ، دون اجهاد العين ، ان يروا كيف تصبح الصورة مجسمة . ان الاختلاف بين الانطباع الذى يتكون لدينا فى هذه الحالة ، وبين الانطباع الذى يتكون لدينا عندما ننظر الى الصورة بكلتا العينين ومن مسافة بعيدة ، هو اختلاف كبير جدا . ان النظر الى الصور العادية بهذه الطريقة ، يكون على وجه التقريب ، بديلا لاستخدام الاستريوسكوب .

والآن ، اصبح من الواضح ، لماذا تبدو الصور مجسمة ، اذا نظرنا اليها بعين واحدة من خلال عدسة مكبرة . وهذه الحقيقة معروفة لدى الجميع ، ولكن التفسير

الصحيح لهذه الظاهرة ، لا يسمع به الا نادرا . وبهذا الصدد . كتب في احد نقاد كتاب « الفيزياء المسلية » ، ما يلي : « ارجو بحث السؤال التالي في الطبعة القادمة من الكتاب : لماذا تبدو الصور مجسمة ، عندما تنظر اليها من خلال عدسة مكبرة ؟ انني اعتقد بان التفسير المعقد للاستريوسكوب ، سوف لا يصمد امام النقد الذي سيتعرض له . حاول ان تنظر في الاستريوسكوب بعين واحدة ، وسترى ان الصورة تحافظ على شكلها المجسم ، خلافا للنظرية » .

وبطبيعة الحال ، لقد اتضح للقراء الآن ، بان نظرية الاستريوسكوب لم تتأثر قيد شعرة ، بهذا العامل .

ان نفس المبدأ بالذات ، هو اساس التأثير الممتع لما يسمى بـ « البانوراما » * . ان الصورة العادية للمنظر الطبيعي او لمجموعة من الناس ، توضع في هذا الجهاز الصغير . وينظر اليها من خلال عدسة مكبرة ، بعين واحدة . وهذا يكفي للحصول على الشكل المجسم ؛ وعادة يجعلون الصورة مجسمة اكثر ، وذلك بقص بعض الاجسام الموجودة في صدر الصورة ، ووضعها على انفراد في مقدمة تلك الصورة . ان عيننا شديدة الحساسية بالنسبة للاشياء المجسمة القريبة ، وتقل هذه الحساسية بصورة واضحة ، بالنسبة للاشياء المجسمة البعيدة .

تكبير الصور

الا يمكن اعداد صورة فوتوغرافية ، بحيث تستطيع العين الطبيعية ان تنظر اليها بصورة صحيحة ، دون استخدام العدسات ؟ ممكن بالطبع — وللقيام بذلك لا نحتاج الا الى استخدام آلات تصوير ، تحتوي على عدسات ذات ابعاد بؤرية كبيرة . وبعد الشرح المذكور سابقا ، يتضح ان الصورة التي نحصل عليها باستخدام عدسة يتراوح بعدها البؤري بين ٢٥ و٣٠ سم ، يمكن النظر اليها (بعين واحدة) من مسافة عادية — وستبدو مجسمة إلى درجة كافية .

---

* المنظر الشامل (المعرب) .

ويمكن الحصول كذلك ، على صور لن تبدو مسطحة ، حتى اذا نظرنا اليها بكلتا العينين ، من مسافة بعيدة . ولقد ذكرنا سابقا ، انه عندما تحصل كلتا العينين ، على صورتين متماثلتين لجسم واحد معيّن ، يعمل العقل على دمجهما فى صورة واحدة مسطحة . ولكن قابلية العقل للقيام بذلك ، تضعف بازدياد المسافة . وقد اثبتت التجارب العملية ، ان الصور التى تم الحصول عليها باستخدام عدسة يبلغ بعدها البؤرى ٧٠ سم ، يمكن النظر اليها بكلتا العينين ، دون ان نفقد الاحساس بشكلها المجسم .

ولكن ضرورة اللجوء الى استخدام العدسة ذات البعد البؤرى الكبير ، تسبب المضايقة ايضا . ولذلك نقدم الآن طريقة اخرى ، تتلخص فى تكبير الصور ، التى نحصل عليها عند استخدام آلة التصوير العادية .

عند التكبير ، تزداد المسافة الصحيحة ، التى تفصل العين عن الصورة عندما ننظر اليها . واذا كبّرنا الصورة التى نحصل عليها باستخدام عدسة يبلغ بعدها البؤرى ١٥ سم ، بمقدار اربع او خمس مرات ، فان هذا يكفى للحصول على التأثير المطلوب : وهو مشاهدة الصورة المكبرة بكلتا العينين ، من مسافة تتراوح بين ٦٠ و٧٥ سم . ان عدم جلاء الصورة المبتسر ، لا يؤثر على الانطباع الذى يتكون لدينا ، وذلك لانه يختفى تقريبا ، عندما ننظر الى الصورة من مسافة بعيدة . وتكون الصورة جيدة ايضا من حيث التجسيم والمنظر الشامل .

احسن مقعد فى السينما

ان الناس الذين يترددون كثيرا على دور السينما ، ربما لاحظوا ان بعض الافلام تتميز بكونها مجسمة للغاية ، بحيث تنفصل الاجسام عن المنظر الخلفى ؛ وتبدو بارزة ، حتى انها تجعل المشاهد يشعر بان امامه منظرا طبيعيا حقيقيا ، او ممثلين يتحرّكون على خشبة المسرح بالذات . ان بروز الصور بهذا الشكل ، لا يعتمد على خواص الشريط السينمائى بالذات ، كما يظن الناس غالبا . انما يعتمد على المحل الذى يجلس فيه

5 Зак 15662

المشاهد . ومع ان تصوير الافلام السينمائية ، يتم بواسطة آلات تصوير ذات بعد بؤرى قليل جدا ، الا انها تعرض على الشاشة بصورة مكبرة للغاية – بمائة مرة – . بحيث يمكن مشاهدتها بكلتا العينين ، من مسافة بعيدة (١٠ سم×١٠٠ = ١٠ م) . ويمكن ان تبدو الصورة مجسمة الى اكبر حد ، اذا نظرنا اليها من نفس زاوية الابصار ، التى « نظرت » منها العدسة الى الجسم الطبيعى اثناء تصويره . عندئذ ستبدو امامنا صورة مجسمة حقيقية .

كيف يمكننا اذن ، ان نجد المسافة المناسبة لزاوية الابصار الاكثر ملاءمة ؟ لكى نفعل ذلك ، يجب ان نختار المقعد بحيث يكون : اولا . مقابل منتصف الفلم السينمائى ، وثانيا ، ان يبعد عن الشاشة بمسافة تزيد عن عرض الصورة . بعدد مرات زيادة البعد البؤرى للعدسة . عن عرض الشريط السينمائى .

وعند تصوير الافلام السينمائية تستخدم عادة آلات تصوير يبلغ بعدها البؤرى ٣٥ مم ، ٥٠ مم ، ٧٥ مم و ١٠٠ مم . وذلك تبعا لطبيعة التصوير .

اما العرض القياسى للشريط فهو ٢٤ مم . واذا بلغ البعد البؤرى ، مثلا ٧٥ مم . تكون النسبة عندئذ ، كما يلى :

$$\frac{\text{المسافة المطلوبة}}{\text{عرض الصورة}} = \frac{\text{البعد البؤرى}}{\text{عرض الشريط}} = \frac{٧٥}{٢٤} \approx ٣$$

وهكذا ، فلكى نعرف على اية مسافة من الشاشة يجب ان نجلس . يكفى ان نضرب عرض الصورة فى العدد ٣ . فاذا بلغ عرض الصورة السينمائية ٦ خطوات ، فان احسن محل لمشاهدة ذلك الفلم ، سيقع على مسافة ١٨ خطوة من الشاشة .

ويجب الا نغفل عن هذا الامر ، عند اختيار مختلف الوسائل المعدة ، لاعطاء الفلم السينمائى شكلا مجسما . وذلك لانه من السهل ان ينسب المشاهد الى الصورة ، اشياء تتعلق فى الواقع . بالامور المذكورة اعلاه .

نصيحة الى قراء المجلات المصورة

ان لنسخ الصور الفوتوغرافية المطبوعة فى الكتب والمجلات . نفس خصائص الصور الاصلية ، اى انها تصبح مجسمة ايضا : اذا نظرنا اليها بعين واحدة . من مسافة مناسبة . ولما كانت الصور المختلفة ، تلتقط بآلات تصوير ذات ابعاد بؤرية مختلفة . فان ابعاد المسافة المناسبة للنظر الى الصورة ، يتم بالتجربة . اغمض احدى عينيك ، ثم امسك الصورة بيد ممدودة ، بحيث يكون مستوى الصورة عموديا على شعاع الابصار . وتكون العين المفتوحة ، قبالة منتصف الصورة . والآن قرّب الصورة تدريجيا ، دون ان ترفع نظرك عنها ، وبذلك ستحين اللحظة التى تبدو فيها الصورة مجسمة الى اقصى حد ممكن .

ان كثيرا من الصور ، التى تبدو غير جلية ومسطحة عندما ننظر اليها بشكل طبيعى . تصبح مجسمة وواضحة . اذا نظرنا اليها بالطريقة المذكورة سابقا . وعندما ننظر الى الصورة بهذه الطريقة ، كثيرا ما يتضح بجلاء رونق المياه ، وغير ذلك من الظواهر الاستريوسكوبية .

والشيء الذى يدعو الى العجب ، هو ان هذه الحقائق البسيطة ، لا يعرفها الا القليل من الناس ، بالرغم من ان كل ما ذكرناه تقريبا فى هذا البحث ، قد تم شرحه فى الكتب العامة منذ اكثر من نصف قرن مضى . واذا طالعنا كتاب « مبادئ فسيولوجيا العقل » للعالم النفسى الانجليزى كاربنتر ، الذى عاش فى القرن التاسع عشر ، لوجدنا فيه البحث التالى عن مشاهدة الصور :

« ومن الجدير بالاعتبار ، ان تأثير هذه الطريقة لمشاهدة الصور الفوتوغرافية (بعين واحدة) ، لا يقتصر على اظهار بروز الاجسام ، لان هناك خصائص اخرى ، تضاف الى الصورة وتجعلها رائعة وحقيقية بشكل ليس له نظير . وهذا يخصّ بالدرجة الاساسية ، صورة الماء الساكن — وهى اضعف مواضع الصور الفوتوغرافية فى الظروف الطبيعية . فاذا نظرنا بصفة خاصة ، الى صورة الماء هذه ، بكلتا العينين ، لظهر سطح

الماء وكأنه من الشمع . اما اذا نظرنا اليه بعين واحدة ، لظهر لنا في اغلب الاحوال ، بصفائه البديع وعمقه .

ويمكن ان نقول نفس الشيء ، بالنسبة لمختلف خصائص السطوح العاكسة للضوء ، مثل سطح البرونز والعاج . ويمكن بسهولة كبيرة معرفة المادة التي صنع منها الجسم المصور ، اذا نظرنا الى الصورة بعين واحدة ، وليس بعينين » .

ونلفت الانتباه الى شيء آخر . اذا كانت الصور تزداد حيوية عند تكبيرها ، فانها على العكس من ذلك ، تقل حيوية عند تصغيرها . وفي الحقيقة ، تكون الصور المصغرة حادة الملامح وجلية ، ولكنها مسطحة لا تعطي انطباعا عن عمقها وتجسيمها . وبعد كل ما ذكرناه ، يجب ان يكون السبب واضحا : بتصغير الصور الفوتوغرافية ، تقل الابعاد المنظورية المطابقة ، التي تكون عادة صغيرة جدا .

كيف يجب ان ننظر الى اللوحات الفنية

ان ما ذكرناه عن الصور الفوتوغرافية ، ينطبق الى درجة معينة ، على اللوحات الفنية ، التي تبدعها ريشة الرسام . اذ انها تبدو اروع ما يمكن ، اذا نظرنا اليها من مسافة مناسبة . وفي هذه الحالة فقط ، نشعر بالمنظر المجسم ، ولا تبدو اللوحة مسطحة ، بل تبدو عميقة وبارزة . ومن المفيد ان ننظر الى اللوحة بعين واحدة ايضا ، لا بعينين ، وخاصة عندما تكون اللوحة صغيرة الابعاد .

وفي هذا الصدد ، كتب كاربنتر في كتابه المذكور آنفا ما يلي : « من المعروف منذ قديم الزمان ، انه عندما ننظر الى اللوحة الفنية بانتباه ، حيث تكون الظروف المنظورية . والضوء والظلال ومواضع الاجزاء التفصيلية العامة ، مطابقة تماما للحقيقة ، يكون الانطباع المتكون لدينا اكثر حيوية ، اذا نظرنا الى اللوحة بعين واحدة لا بعينين . ومن المعروف ايضا ، ان التأثير يزداد عندما ننظر الى اللوحة من خلال انبوبة لها فتحة معينة ، تحجب عن النظر كل ما هو خارج عن نطاق اللوحة . وقد فسرت هذه الحقيقة في السابق ،

بشكل خاطئ تماما . فقد ذكر « باكون » فى بعض كتبه ، باننا نرى بعين واحدة احسن مما نرى بعينين ، لان الارواح الحيوية تتركز عندئذ فى مكان واحد ، وتصبح قوية التأثير ».

ولكن الحقيقة هى اننا عندما ننظر بكلتا العينين ، الى لوحة موضوعة على مسافة معتدلة منا ، نضطر الى الاعتراف بانها مسطحة ، بينما عند النظر اليها بعين واحدة فقط ، فان عقلنا يمكن ان ينقاد بسهولة لانطباع المنظور والضوء والظلال وغير ذلك . وهكذا ، فعندما نركز النظر فى اللوحة ، يبدو لنا بعد مدة قصيرة ، انها قد اصبحت مجسمة ، او حتى تبدو وكأنها حقيقية .

ان تكامل الصورة يعتمد بالدرجة الاساسية ، على دقة نقل المسقط الحقيقى للجسم على اللوحة . ان افضلية الابصار بعين واحدة ، تعتمد فى هذه الحالات ، على قيام العقل الحر ، بالتحكم فى اللوحة على هواه ، عندما لا يوجد ما يجبره ، على رؤيتها كلوحة مسطحة » .

ان الصور المصغرة ، الملتقطة للوحات الكبيرة ، كثيرا ما تعطى تجسيما اكثر تكاملا ، مما هو عليه فى اللوحات الاصلية . وسوف يفهم القارئ سبب ذلك ، اذا تذكر انه عند تصغير الصورة ، تختصر تلك المسافة الكبيرة عادة ، التى يجب ان ننظر منها الى الصورة ، ولهذا السبب تكتسب الصورة هيئة مجسمة ، وهى على مسافة قريبة من العين .

رسم الاشكال المجسمة على لوحات مسطحة

ان كل ما ذكرناه سابقا ، عن النظر الى الصور الفوتوغرافية ، وكذلك الى اللوحات والرسوم ، هو صحيح فى الحقيقة ، ولكن يجب الا نفهم من ذلك ، انه لا توجد هناك طريقة اخرى للنظر الى اللوحات المسطحة ، يمكنها ان تنشئ لدى المشاهد ، انطباع مشاهدة اللوحات المجسمة . ان كل رسام ، اكان يستخدم الالوان الزيتية او اقلام الفحم او آلة التصوير ، يرسم لوحته الفنية ، بحيث تولد انطباعا لدى المشاهد ، بغض النظر عن الطريقة التى سيتبعها المشاهد فى النظر الى تلك اللوحة ، لان الرسام لا يمكن ان

يفترض ، بان زوار المعرض سوف ينظرون الى لوحاته بعين واحدة ، ويقيسون المسافة المناسبة لنظر الى كل لوحة .

وتوجد لدى كل رسام او مصور ، امكانيات واسعة لنقل الفراغ المجسم (الثلاثي الابعاد) الى لوحة مسطحة (ذات بعدين) .

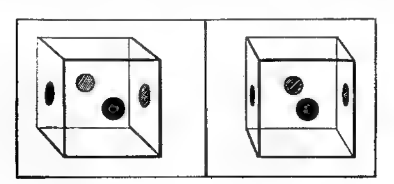
ان عدم تماثل صور الاجسام التي تقع على ابعاد مختلفة ، عندما تنظر اليها بكلتا العينين ، لا يمثل بالنسبة لنا ، الدلالة الوحيدة على عمق الفراغ . ان امكانية الحكم على عدم تماثل ابعاد مختلف مخططات اللوحه بالنسبة لنا ، تعتمد الى حد بعيد ، على ما يسمى بـ « المنظور الجوي » . الذي يجعل الاجسام البعيدة ، تبدو امامنا اقل وضوحا ، كأنها ملفّعة بضباب الجو الخفيف .

واذا رسمنا المخططات الاكثر بعدا ، بصورة اقل وضوحا وبالوان فاتحة اكثر ، فان كل ذلك بالاضافة الى الحجوم المختلفة ، للاجسام التي تبعد عنا بمسافات مختلفة ، يولد انطباعا عن عمق الفراغ ، بغض النظر عن طريقة مشاهدة اللوحة . وبامكان الرسام ان يخلق ذلك « المنظور الجوي » اذا وحّد بين الاضاءة والالوان الملائمة وبين جلاء الصورة او اللوحة . ويستطيع المصور او الرسام ، ان يحصل على تأثير مماثل ، بواسطة الاختيار المتقن للاضاءة ، واستخدام عدسة ملائمة ، ونوع مناسب من الورق ، يساعد على تنوع الالوان والظلال الى درجة كافية . وللتركيز البؤري الملائم ، اهمية كبيرة في عملية التصوير الفوتوغرافي . فاذا كان المنظر الامامي حاد الملامح ، وكانت المناظر الاخرى ، الاكثر بعدا واقعة « خارج البؤرة » ، يكفي هذا وحده ، في حالات كثيرة ، لاعطاء انطباع عن عمق الفراغ . وعلى عكس ذلك ، عندما نقلل من قطر الفتحة ، تصبح جميع المناظر متساوية من حيث حدة الملامح ، وبهذا تتجرد الصورة عن عمقها وتبدو مسطحة .

وبصورة عامة ، اذا كان الرسام ماهرا ، فانه يستطيع ان يؤثر على المشاهد تأثيرا نفسيا ، يجعله يستوعب الصورة المسطحة مثلما يستوعب الصورة المجسمة ، بغض النظر عن الظروف الفسيولوجية للانطباعات البصرية ، واحيانا حتى عند عدم مراعاة قوانين المنظور الهندسي .

ما هو الاستيريوسكوب ؟

بانتقالنا من الصور الى المواد المجسمة ، نطرح على انفسنا السؤال التالى : لماذا تبدو المواد امامنا ، مجسمة لا مسطحة ؟ ان الصورة المنعكسة على شبكية العين ، هى صورة مسطحة. اذن ما الذى يجعل المواد تبدو امامنا بصورة ثلاثية الابعاد (مجسمة) لا بصورة مسطحة ؟ هناك عدة اسباب تتعلق بهذه المسألة . اولا ، ان درجة الاضاءة المختلفة لاجزاء المواد ، تساعدنا فى الحكم على شكل تلك المواد . وثانيا ، الدور الذى يلعبه التوتر الذى نشعر به عندما نكيّف العين لرؤية الاجزاء المختلفة للمادة المجسمة ، التى تبعد عنا بمسافات مختلفة : ان جميع اجزاء الصورة المسطحة ، متساوية البعد عن العين ، بينما تكون اجزاء الصورة المجسمة ، مختلفة البعد عن العين ، ولكى نراها بوضوح ، يجب ان تتكيف العين بشكل مناسب للرؤية . ولكن الامر الذى يقدم لنا خدمة كبيرة هنا ، هو ان صور الجسم الواحد ، المتكونة فى كل عين ، لا تكون متساوية . ويمكن التأكد من ذلك ، اذا نظرنا الى احد الاجسام القريبة ، مرة بالعين اليمنى واخرى بالعين اليسرى ، بصورة متناوبة . ان العينين اليمنى واليسرى ، لا تريان الاجسام بشكل متساو ، اذ ترسم فى كل عين صورة مختلفة ، وهذا الاختلاف ، الذى يفسره عقلنا ، يولد لدينا انطباعا عن التجسيم (لاحظ الشكلين ١٢٠ و١٢٢) .



شكل ١٢٢ : مكعب زجاجي يحتوي على بقع ، كما يبدو لكل من العينين اليسرى و يمنى .

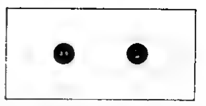
والآن ، لنفرض ان امامنا صورتين لجسم واحد ، الاولى تظهر الجسم كما تراه العين اليسرى ، والاخرى ــ كما تراه العين اليمنى . فاذا نظرنا الى هاتين الصورتين ، بحيث ترى كل عين الصورة الخاصة بها ، لرأينا بدلا من الصورتين المسطحتين ، صورة واحدة بارزة ومجسمة ، حتى انها تفوق فى بروزها ، المواد المجسمة التى نراها بعين واحدة . وتتم مشاهدة مثل هذه الصور المزدوجة بواسطة جهاز خاص هو الاستيريوسكوب . ان اندماج الصورتين كان يتم فى الاستيريوسكوبات القديمة ، بواسطة مرايا ، اما فى الاستيريوسكوبات الحديثة ، فيتم ذلك بواسطة مواشير زجاجية محدبة ، تكسر الاشعة بحيث عندما نمدها نظريا الى نهايتها ، فان كلتا الصورتين (وقد اصبحتا مكبرتين قليلا بفضل تحدب الموشور) ، تغطيان بعضهما البعض . ان فكرة الاستيريوسكوب بسيطة جدا كما نرى ، ولكن التأثير الرائع الذى يعطيه هذا الجهاز البسيط ، يثير فينا الدهشة والعجب .

ولعل معظم القراء قد شاهدوا بلا شك ، تلك الصور الاستيريوسكوبية ، ذات المشاهد والمناظر الطبيعية المختلفة . ويحتمل ان يكون بعض القراء الآخرين ، قد شاهدوا فى الاستيريوسكوب ، مخططات او رسوم الاجسام ، المعدة لتسهيل تعلّم الهندسة المجسمة . وسوف نتكلم فيما بعد ، عن استخدام الاستيريوسكوب فى بعض الاغراض المعروفة نوعا ما . وسوف نتناول بالشرح ، بعض مجالات استخدام الاستيريوسكوب ،التى اظن ان كثيرا من القراء لم يطلع عليها .

الاستيريوسكوب الطبيعى

يمكن مشاهدة الصور الاستيريوسكوبية ، دون الاستعانة باى جهاز كان ، وكل ما فى الامر هنا ، ان نعلّم انفسنا كيف نوجه اعيننا بطريقة مناسبة . وسنحصل عندئذ على نفس النتيجة ، التى نحصل عليها باستخدام الاستيريوسكوب ، مع فارق واحد فقط ، هو ان الصورة فى هذه الحالة لا تتكبّر . ان مخترع الاستيريوسكوب ويتستون ، استخدم

هذه الطريقة الطبيعية بالذات ، فى بادئ الامر . وسوف اعرض فى هذا البحث ، سلسلة كاملة من الصور الاستيريوسكوبية ، التى تزداد تعقيدا بالتدريج ، وانصح القراء بمحاولة النظر اليها مباشرة، بدون استيريوسكوب . وسوف ينجح القراء فى القيام بذلك ، بعد عدد من التمارين * .

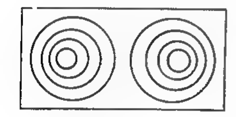


شكل ١٢٣ : اذا حدقت النظر لعدة ثوان ، فى المسافة الموجودة بين النقطتين السوداوين ، فسيبدو لك وكأن النقطتين قد اندمجتا فى نقطة واحدة .

لنبدأ بالشكل ١٢٣ ، الذى يمثل نقطتين سوداوين . ضع النقطتين امام عينيك ، ثم حدق لعدة ثوان فى الفراغ الموجود بينهما ، وفى نفس الوقت حاول جهدك ان تنظر الى جسم يفترض انه موجود بعيدا وراء الشكل . وسوف ترى عاجلا . ان هناك اربع نقط بدلا من نقطتين ، اى ان النقطتين تضاعفتا . ولكن بعدئذ تبتعد النقطتان الطرفيتان



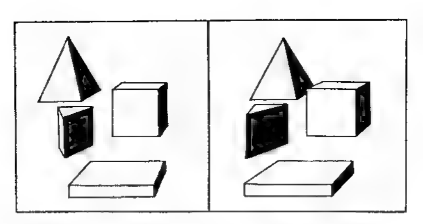
شكل ١٢٤ : انظر الى هذين الحلزونين بنفس الطريقة السابقة . وبعد ان ترى انهما قد اندمجا فى حلزون واحد ، انتقل الى التمرين الذى يليه .



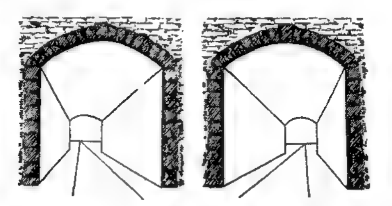
شكل ١٢٥ : عندما يندمج هذان الشكلان ، سترى شيئا يشبه باطن الماسورة الممتدة الى مسافة بعيدة.

---

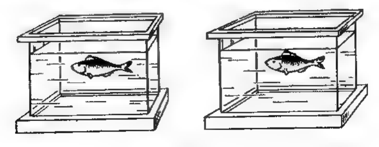
* يجب ان ننبه القراء الى ان المقدرة على النظر استيريوسكوبيا – وحتى النظر فى الاستيريوسكوب – لا تتوفر لدى كافة الناس ، لان بعضهم (مثل الحول او المعتادين على العمل بعين واحدة) ليست لهم قابلية على ذلك بالمرة . وتظهر هذه القابلية عند الآخرين بعد تمارين مستمرة ، واخيرا ، فبالنسبة لقسم الباقى من الناس ، وهم على الاغلب من الشباب ، فانهم يتعلمون ذلك بسرعة – فى ظرف ربع ساعة .



شكل ١٢٦ : عندما تندمج هذه الاجسام الهندسية الشكل ، تصبح وكأنها معلقة فى الهواء .



شكل ١٢٧ : عندما يندمج هذان الشكلان، تظهر امام العين صورة دهليز (ممر) طويل جدا.



شكل ١٢٨ : سمكة صغيرة فى حوض الاسماك .

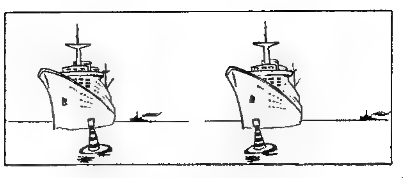
بعيدا ، بينما تقترب النقطتان الداخليتان من بعضهما ، ثم تندمجان فى نقطة واحدة . واذا اعدت نفس التجربة ، مستخدما الشكلين ١٢٤ و١٢٥ ، فسوف ترى فى الحالة الاخيرة ، وفى لحظة الاندماج ، ان امامك منظرا داخليا لماسورة طويلة ، تمتد الى مسافة بعيدة .

وبعد الانتهاء من ذلك ، تستطيع الانتقال الى الشكل ١٢٦ ، وهنا يجب ان تظهر امامك اجسام هندسية معلقة فى الهواء : اما الشكل ١٢٧ ، فيظهر امامك مثل ممر طويل لبناية حجرية ، او نفق . اما فى الشكل ١٢٨ ، فتستطيع التمتع بمنظر الزجاج الشفاف فى حوض الاسماك . واخيرا تبدو امامك فى الشكل ١٢٩ ، لوحة كاملة — منظر طبيعى للبحر .

ان تعلم هذه الطريقة للنظر المباشر الى الصور المزدوجة ، هو امر سهل نوعا ما . وقد اتقن الكثير من اصدقائى هذا الفن ، فى مدة قصيرة من الزمن ، بعد عدد قليل من المحاولات . وباستطاعة الاشخاص المصابين بقصر النظر او بعد النظر ، الذين يستعملون النظارات ، ان يشاهدوا هذه الصور ، دون ان ينزعوا نظاراتهم ، مثلما يشاهدون اية لوحة اخرى . حاول ان تقرب الصور او تبعدها عن ناظريك ، الى ان تجد المسافة المناسبة . وعلى كل حال ، لا بد من اجراء التجربة بوجود اضاءة جيدة — لان ذلك يحقق النجاح الى درجة كبيرة .

وبعد تعلم النظر الى الرسوم المبينة هنا ، بدون استيريوسكوب ، يمكنك الاستفادة من هذه الخبرة المكتسبة ، عندما تريد مشاهدة الصور الاستيريوسكوبية بصورة عامة ، بدون استخدام جهاز خاص . ويمكن كذلك القيام بمحاولة النظر الى تلك الصور الاستيريوسكوبية المبينة فيما بعد (على الصفحتين ٢٢٤ و٢٣٢) ، وذلك بالعين المجردة . ولا ضرورة للولع الشديد بهذه التمارين ، لان ذلك يتعب العين .

واذا لم يحالفك الحظ على اكتساب قابلية التحكم فى عينيك ، فيمكنك عند عدم توفر الاستيريوسكوب ، ان تستخدم عدستى النظارة الخاصة ببعد البصر ، ويجب تثبيتهما



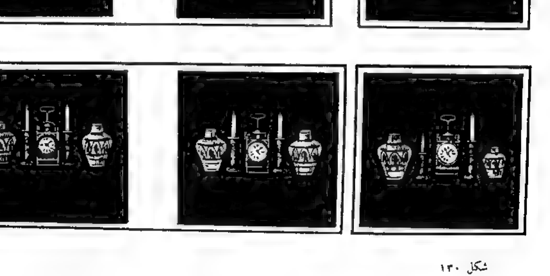
شكل ١٢٩ : صورة استيريوسكوبية (مجسمة) لمنظر طبيعي للبحر .

تحت فتحة محفورة فى قطعة من الورق المقوى ، بحيث يمكن النظر من خلال الحافة الداخلية للعدستين فقط ؛ ويجب ان نضع بين الصورتين حاجزا ما . وسوف يساعدك هذا الاستيريوسكوب البسيط ، على بلوغ الهدف تماما .

بعين واحدة وباثنتين

يبين الشكل ١٣٠ (فى الزاوية اليسرى العليا) صورتين لثلاث قنان زجاجية ، تبدو كأنها متساوية الحجوم . ومهما ركزنا انتباهنا عند النظر اليها، فلن نجد اى اختلاف فى حجوم تلك القنانى . بينما يوجد هناك اختلاف كبير جدا ، فى حجوم القنانى المذكورة . والقنانى تبدو امامنا متساوية ، لسبب واحد فقط ، هو وقوعها على مسافة مختلفة من العين او من آلة التصوير ، اذ ان القنينة الكبيرة ، ابعد من القنينتين الصغيرتين . ولكن اىّ القنانى الثلاث اقرب ، وايها ابعد ؟ لا يمكن ان نجيب على هذا السؤال ، بمجرد النظر الى الصور .

ولكن المسألة تصبح سهلة الحل ، اذا لجأنا الى استخدام الاستيريوسكوب ، او الابصار الاستيريوسكوبى ، بدون استخدام اى جهاز ، كما ذكرنا سابقا . عندئذ سوف نرى بوضوح ، ان القنينة الموجودة فى اقصى اليسار ، هى ابعد بكثير من القنينة






شكل ١٣٠

الوسطى ، التي تكون بدورها ابعد من القنينة اليمنى . والنسبة الحقيقية بين حجوم القناني الثلاث ، مبينة في الصورة الواقعة في الزاوية اليمنى العليا من الشكل .

وتوجد في اسفل الشكل ١٣٠ ، حالة اخرى تدعو الى مزيد من العجب . نرى في الشكل ، الى اليسار ، صورتين تظهر في كل منهما مزهريتان وشمعتان وساعة واحدة ، ويبدو ان المزهريتين متشابهتان وكذلك الشمعتين ، تشابها تاما . وفي الحقيقة ، هناك اختلاف كبير بين كل زوج منهما ، من حيث الحجوم : ان المزهرية اليسرى ، اطول من اليمنى بمرتين تقريبا ، اما الشمعة اليسرى ، فهي اخفض من الساعة ومن الشمعة اليمنى بكثير . وعندما ننظر الى نفس الصور استيريوسكوبيا ، نجد في الحال سبب هذا التغيّر : ان تلك المواد ليست موضوعة في صف واحد ، ولكنها موضوعة على مسافات مختلفة ، بحيث وضعت الكبيرة منها ، بعيدا ، اما الصغيرة فوضعت قريبا .

وهنا تبدو ، بشكل مقنع جدا ، افضلية الابصار الاستيريوسكوبي « بعينين » ، على الابصار « بعين واحدة » .

طريقة سهلة للكشف عن التزوير

لدينا شكلان متشابهان تماما . وهما مربعان اسودان متساويان . وعندما ننظر اليهما بواسطة الاستيريوسكوب ، نرى مربعا واحدا ، لا يختلف باي شيء ، عن كل من المربعين على حدة . فاذا وجدت في مركز كل مربع ، نقطة بيضاء ، فانها ستظهر بالطبع على المربع الذي سنراه في الاستيريوسكوب . ولكننا اذا ازحنا النقطة الموجودة على احد المربعين ، ازاحة قليلة عن المركز ، فسوف تنتج من ذلك ظاهرة غير متوقعة نوعا ما : ستظهر في الاستيريوسكوب كالسابق ، نقطة واحدة . ولكنها لا تقع على نفس المربع بالذات ، بل امامه او وراءه . وان وجود اي اختلاف طفيف بين المربعين ، يكفي لاعطاء انطباع عن عمق الرسم ، عندما ننظر اليه بواسطة الاستيريوسكوب .

وهذا يزودنا بطريقة بسيطة ، لاكتشاف تزوير الاوراق والوثائق المصرفية . وكل ما يتطلبه الامر ، ان نقوم بوضع الورقة النقدية المشكوك فيها ، الى جانب الورقة النقدية

الحقيقية ، في داخل الاستيريوسكوب ، وعندما ننظر اليهما ، فسوف نكتشف التزوير حالا ، مهما كان المزور بارعا في فنه : ان اى اختلاف طفيفٌ يطرأ على حرف واحد او على شرطة واحدة ، سيتضح للعين في الحال لان ذلك الحرف او تلك الشرطة ، سيظهران اما أمام الورقة النقدية او خلفها * .

الابصار عند العمالقة

عندما يكون الجسم واقعا على مسافة بعيدة جدا منا ، تزيد على ٤٥٠ م ، لا يكون للمسافة الموجودة بين عينينا ، اىّ تأثير على تفاوت الانطباعات البصرية . ولهذا السبب ، تبدو المبانى البعيدة ، والجبال والمناظر الطبيعية النائية ، امامنا بهيئة مسطحة . ولهذا السبب بالذات ، تبدو كافة النجوم والكواكب وكذلك القمر وكأنها تقع على مسافة واحدة ، في حين ان الاخير اقرب بكثير من الكواكب ، والكواكب بدورها اقرب من النجوم الثابتة ، الى درجة لا تقاس .

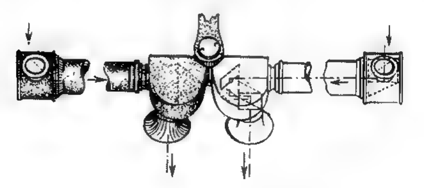
وبصورة عامة ، ليست لنا قابلية لتمييز بروز كافة الاجسام الواقعة على مسافة تزيد على ٤٥٠ م ، لانها تبدو امام العينين اليمنى واليسرى بصورة متماثلة . ذلك لان المسافة التي تفصل العينين عن بعضهما ، ومقدارها ٦ سم ، تكون ضئيلة جدا ، عند مقارنتها بمسافة قدرها ٤٥٠م . ومن الواضح ان الصور الاستيريوسكوبية ، الناتجة في مثل هذه الظروف ، تكون متماثلة تماما ، ولا يمكن ان تعطى في الاستيريوسكوب ، صورة بارزة (مجسمة) .

---

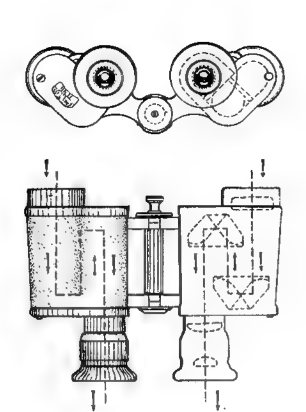
* ان هذه الفكرة التي أتى بها العالم دوفيه لاول مرة في منتصف القرن التاسع عشر ، لا تصلح للتطبيق بالنسبة لكافة الاوراق النقدية المتداولة في الوقت الحاضر ، ذلك لان هذه الاوراق تطبع بصورة تكنيكية معقدة ، بحيث لا تعطى الرسوم الناتجة ، عندما ننظر اليها بواسطة الاستيريوسكوب ، اى انطباع عن الصورة المسطحة ، حتى اذا كانت كلتا الورقتين النقديتين حقيقيتين . ولكن طريقة « دوفيه » ، ملائمة جدا لغرض التمييز بين مسودتين مطبوعتين لصفحة من كتاب ، عندما تطبع احداهما من حروف مركبة من جديد .

ولكن يمكن تدارك الامر ، اذا صورنا الاجسام البعيدة من نقطتين ، يكون البعد المتبادل بينهما ، اكبر من المسافة الطبيعية بين العينين . وعند النظر الى مثل هذه الصور فى الاستيريوسكوب ، نرى المنظر الطبيعى ، فى الوضعية التى كنا سنراه فيها لو كانت المسافة التى بين عينينا ، اكبر كثيرا مما هى عليه فى العادة . وهنا يكمن سر الحصول على صور استيريوسكوبية للمناظر الطبيعية . وعادة ينظر الى هذه الصور ، من خلال مواشير مكبِّرة (محدبة الجوانب) ، بحيث كثيرا ما تظهر تلك الصور الاستيريوسكوبية البارزة امامنا بحجمها الطبيعى ، ويكون تأثيرها مدهشا .

ومن المحتمل ان يكون القارئ قد ادرك ، انه من المعقول صنع جهاز يتكون من انبوبين بصريّين ، يمكن من خلالهما روءية المنظر الطبيعى المعيّن وهو بارز كما هو عليه فى الطبيعة ، لا فى الصورة . ان مثل هذه الاجهزة ــ انابيب الابصار الاستيريوسكوبية ــ موجودة فى الواقع ، ويتكون كل جهاز من انبوبين ، تفصلهما مسافة اكبر من المسافة الطبيعية الموجودة بين العينين ، وتسقط كلتا الصورتين على شبكتَيْ العينين ، بواسطة مواشير عاكسة (شكل ١٣١) . ومن الصعب وصف الشعور الذى ينتاب الانسان ، عندما ينظر فى مثل هذه الاجهزة البصرية . انها عجيبة حقا ! اذ اننا نرى ان الطبيعة قد بدلت مظهرها . فالجبال البعيدة تصبح بارزة ، والاشجار والصخور والمبانى والسفن التى فى البحر ، كلها تظهر بصورة مجسمة وبارزة ، وقد امتدت فى



شكل ١٣١ : منظار استيريوسكوبى .



شكل ١٣٢ : منظار موشوري .

فضاء رحب لا نهاية له . ونرى مباشرة كيف تتحرك السفينة البعيدة ، التى تبدو ساكنة عندما ننظر اليها بمنظار عادى . وبهذا الشكل ، تبدو المناظر الطبيعية الارضية امامنا ، مثلما يراها العمالقة ، الذين نسمع عنهم فى القصص الخرافية .

واذا كانت قوة تكبير الانبوبين هى ١٠ مرات ، والمسافة بين العدسات تزيد على المسافة الطبيعية بين الحدقتين بمقدار ٦ مرات (اى تساوى ٦٫٥×٦ = ٣٩ سم) ، فستكون الصورة المرئية اكبر حجما بمقدار ٦×١٠ = ٦٠ مرة ، مما هى عليه عند النظر بالعين المجردة . حتى ان الاجسام التى تبعد بمقدار ٢٥ كم عن المشاهد ، تبدو واضحة البروز .

4 Зак 15662

وبالنسبة لمسّاحي الارض والبحارة ورجال المدفعية والسياح ، تكون هذه الانابيب البصرية عظيمة الفائدة وخاصة اذا كانت مزودة بجهاز تعيين المدى الذى يمكن بواسطته تقدير المسافات . ان المنظار الموشورى كذلك ، يعطى نفس التأثير لان المسافة بين عدستيه اكبر من المسافة الطبيعية بين العينين (شكل ١٣٢) . ويكون الامر معكوسا ، في لمناظير المستخدمة في المسارح ، حيث تكون المسافة المذكورة اصغر مما هي عليه في الحالة السابقة ، وذلك كي تظهر الديكورات المسرحية بالشكل الملائم .

الكون في الاستيريوسكوب

اذا وجّهنا انبوب الابصار الاستيريوسكوبى ، نحو القمر او نحو اى كوكب او نجمة ، فاننا سوف لانرى اية تضاريس هناك . وهذا هو المتوقع . اذ ان الابعاد او المسافات الكونية ، هائلة جدا حتى بالنسبة لانبوب الابصار الاستيريوسكوبى . وبعد ، فان المسافة التى تفصل بين عدستى الانبوب المذكور ، والتى تتراوح بين ٣٠ و ٥٠ سم ، هى غير ذات قيمة ، بالنسبة للمسافة بين الارض والكواكب الاخرى . واذا استطعنا صنع جهاز ، تكون المسافة بين انبوبيه ، مقاسة حتى بعشرات او بمئات الكيلومترات ، فانه سوف لا يعطى اى تأثير عند مراقبة الكواكب ، التى تبعد عنا بعشرات الملايين من الكيلومترات .

وهنا نستعين مرة اخرى بالتصوير الاستيريوسكوبى . لنفرض اننا صوّرنا امس احد الكواكب ، ثم اعدنا تصويره اليوم ثانية . ان كلتا الصورتين ستلتقطان من نقطة واحدة على سطح الارض ، ولكن من نقاط مختلفة بالنسبة للمنظومة الشمسية لان الارض خلال ذلك اليوم ، تكون قد قطعت اثناء دورانها ، ملايين الكيلومترات . وهكذا ، فان الصورتين بطبيعة الحال ، سوف لا تكونان متماثلتين . واذا نظرنا الى مثل هذه الصور بعد وضعها داخل الاستيريوسكوب ، فستظهر امامنا عندئذ ، صور مجسمة مسطحة .

اذن ، يمكننا استخدام حركة الارض حول مدارها ، للحصول على صور للكواكب ،

مأخوذة من نقطتين تفصلهما مسافة بعيدة للغاية ، وسوف تكون هذه الصورة ، بمثابة صور استيريوسكوبية . اذا تصورنا وجود عملاق له رأس كبير جدا ، بحيث تكون المسافة الواقعة بين عينيه ، مقدرة بملايين الكيلومترات ، ستدرك عندئذ قيمة النتائج المدهشة التي يتوصل اليها الفلكيون باستخدام التصوير الاستيريوسكوبي.

وعندما ننظر الى الصور الاستيريوسكوبية للقمر ، فاننا نرى جباله واضحة المعالم وبارزة الى درجة ، جعلت بامكان العلماء قياس ارتفاعاتها .

ويستخدم الاستيريوسكوب في الوقت الحاضر لاكتشاف كواكب جديدة ، وخاصة الكواكب الصغيرة (الكويكبات) ، التي تدور باعداد كبيرة ، بين مداري المشتري والمريخ . وفي الماضي القريب ، كان اكتشاف احد تلك الكويكبات ، يعتبر عملا من قبيل الصدف السعيدة . اما الآن ، فيكفي ان نقارن بين صورتين استيريوسكوبيتين ، لمنطقة معينة من السماء ، تم التقاطهما في موعدين مختلفين ، كي نجد الكويكب في الحال فيما اذا كان موجودا في تلك المنطقة من السماء . اذ انه سيكون متميزا عن بقية الاجرام السماوية .

ويمكن بواسطة الاستيريوسكوب معرفة الاختلاف بين مواقع الاجرام السماوية ، وكذلك الاختلاف في سطوعها . وهذا يضع امام الفلكي ، طريقة سهلة ومريحة لاكتشاف ما يسمى بالنجوم المتغيرة ، التي تغيّر من سطوعها بصورة دوريّة . فاذا ظهر في صورتين فلكيتين ، ان نجما ما قد بدا غير متماثل السطوع ، فان الاستيريوسكوب يظهر للفلكي في الحال ، موقع ذلك النجم المتغيّر السطوع .

واخيراً ، امكن الحصول على صور استيريوسكوبية للسديم (اندروميد واريون) . ولما كانت المنظومة الشمسية صغيرة جدا بالنسبة لالتقاط مثل هذه الصور ، فقد استفاد الفلكيون من حركة انتقال منظومتنا الشمسية بين النجوم ، للقيام بعملية التصوير . اذ انه بفضل هذه الحركة في الفضاء الكوني ، نستطيع دائما رؤية النجوم الكونية من نقاط ابصار تتجدد مواقعها باستمرار . وبمرور فترة زمنية كافية ، يصبح هذا الاختلاف واضحا ، حتى بالنسبة لآلة التصوير الفوتوغرافي . وبقيامنا بالتقاط صورتين ، تفصلهما فترة زمنية طويلة ، يمكننا عندئذ ان ننظر اليهما بواسطة الاستيريوسكوب .

الابصار بثلاث عيون

سيندهش القارئ عندما يقرأ هذا العنوان ويتساءل : الابصار بثلاث عيون ؟ ! وهل باستطاعة الانسان الحصول على عين ثالثة ؟

تصوّر اننا سنتحدث عن امكانية الابصار بهذا الشكل . ان العلم لا يستطيع تزويد الانسان بعين ثالثة ، ولكنه يستطيع ان يجعلنا نرى الجسم ، كما لو كنا في الحقيقة ، ننظر اليه بثلاث عيون .

نشير في بداية الحديث ، الى ان باستطاعة الاعور مشاهدة الصور الاستيريوسكوبية ، والحصول منها على انطباع عن بروزها ، لا يمكنه الحصول عليه مباشرة في الحياة العادية . ولهذا الغرض ، يجب ان نعرض على الشاشة ، صورا مخصصة للعينين اليمنى واليسرى ، بحيث تحل احداها محل الاخرى بسرعة . اذ ان الشيء الذي يراه صاحب العينين في وقت واحد ، يراه الاعور هنا ، بالتتالي وبتغيّر سريع . ولكن النتيجة تكون واحدة لان الانطباعات البصرية السريعة التغيّر ، تندمج ايضا في شكل واحد ، كالانطباعات الحاصلة في وقت واحد * .

واذا كان الامر كذلك ، فان باستطاعة الشخص الذي له عينان ، ان يرى في وقت واحد ما يلي : عند الابصار بعين واحدة ، يرى صورتين متغيرتين بسرعة ، ويرى بالعين الاخرى صورة ثالثة ، ملتقطة من نقطة ابصار ثالثة .

وبعبارة اخرى ، تتكون للجسم الواحد ثلاث صور ، تتناسب مع ثلاث نقاط مختلفة ، كما لو كانت تلك النقاط هي ثلاث عيون بشرية . ثم تقوم صورتان من هذه الصور ، بتغيّرها السريع ، بالتأثير على عين واحدة من عيني المراقب . وعند التغيّر

---

* ان ذلك التجسيم المدهش للافلام السينمائية ، الذي نراه في بعض الاحيان ، يمكن ان يعود الى هذا السبب ، بالاضافة الى الاسباب المذكورة اعلاه . فاذا اهتزت آلة العرض السينمائية اهتزازا بسيطا اثناء عرض الفلم (كما يحدث في الغالب ، نتيجة لتشغيل آلية تدوير الشريط) ، تكون الصور غير متطابقة ، وعند تغير الصور السريع على شاشة السينما ، فانها تندمج في عقلنا بهيئة مجسمة .

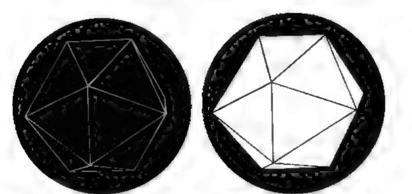
السريع ، تتوحد الانطباعات التي تعطيها ، وتشكل صورة مجسمة واحدة . وينضم الى هذه الصورة ، انطباع ثالث ، ناتج عن العين الاخرى ، التى تنظر الى الصورة الثالثة .

وفى هذه الظروف ، بالرغم من اننا ننظر بعينين اثنتين فقط ، الا اننا نحصل على انطباع يشابه تماما ، الانطباع الذى كنا سنحصل عليه لو نظرنا بثلاث عيون . ويكون التجسيم فى هذه الحالة على درجة عالية من الجودة .

ما هو اللمعان ؟

ان الصورتين الاستيريوسكوبيتين المبينتين فى الشكل ١٣٣ ، تمثلان جسمين متعددى السطوح : الاول اسود اللون موضوع على سطح ابيض ، والآخر ابيض اللون موضوع على سطح اسود . ماذا عسانا ان نرى ، لو نظرنا الى هاتين الصورتين بواسطة الاستيريوسكوب ؟ من الصعب التكهن بذلك مسبقا . لنقرأ ما كتبه هيلمهولتز :

« عندما يكون احد سطوح الصورة الاستيريوسكوبية ، ابيض اللون ، والسطح الآخر اسود ، فان الصورة الموحدة تبدو لامعة ، حتى اذا طبعت على ورق اكمد (عاتم) . ان المخططات الاستيريوسكوبية لنماذج البلّور (المجهزة بهذا الشكل) تحدث لدى



شكل ١٣٣ : بريق استيريوسكوبى . باندماج هذين الشكلين عند النظر اليهما بالاستيريوسكوب ، تتكون صورة بلورة ساطعة على خلفية سوداء .

المشاهد انطباعا ، كما لو كان النموذج مجهزا من الجرافيت اللامع . وبفضل هذه الطريقة ، تظهر المياه والاوراق في الصور الاستيريوسكوبية ، اكثر لمعانا » .

وفى الكتاب القديم المسمى : « فسيولوجيا اعضاء الحس ـ الابصار » الذى الفه العالم الفسيولوجى الروسى العظيم سيجينوف (عام ١٨٦٧) ، نجد تفسيرا رائعا لهذه الظاهرة :

« فى تجارب التوحيد ـ الدمج ـ الصناعى للسطوح المختلفة الاضاءة او التلوين ، تتكرر الظروف الحقيقية لابصار الاجسام اللامعة . وفى الواقع ، بماذا يختلف السطح الاكمد عن السطح اللامع ـ الصقيل ـ ؟ ان السطح الاكمد يعكس الضوء ويشتته فى كافة الجهات ، ولذلك يبدو للعين على الدوام ، منتظم الاضاءة ، بغض النظر عن الجهة التى ننظر منها اليه . اما السطح اللامع ، فيعكس الضوء فى جهة معينة فقط ، ولذلك يحتمل ان تصل الى احدى عينى الانسان الذى ينظر الى مثل هذا السطح، كمية كبيرة من الاشعة المنعكسة ، بينما لا تصل الى العين الثانية اية كمية من الاشعة (وهذه الظروف تنطبق بصورة خاصة على حالة الاندماج الاستيريوسكوبى للسطح الابيض مع السطح الاسود) . اما حالات عدم انتظام توزيع الضوء المنعكس على عينى المراقب (اى الحالات التى تكون فيها كمية الضوء الواصلة الى احدى العينين، اكبر من الكمية الواصلة الى العين الاخرى) عند النظر الى السطوح اللامعة الصقيلة ، فلا بد من حدوثها .

وهكذا يرى القارئ ، ان اللمعان الاستيريوسكوبى، هو بمثابة برهان للنظرية القائلة بان الخبرة تلعب الدور الرئيسى فى عملية الاندماج الجسمانى للاشكال . ويخضع الصراع بين مجالات الابصار للتصورات الراسخة ، فورا ، حالما تعطى للجهاز البصرى المجرب ، امكانية نسب الاختلاف ، الى حالة معروفة من حالات الابصار الحقيقى » .

وهكذا ، فان سبب رؤية اللمعان (على الاقل احد الاسباب) ، يعود الى عدم تساوى وضوح الصورتين اللتين نراهما بكل من العينين اليمنى واليسرى . ولولا وجود الاستيريوسكوب ، لما كان فى استطاعتنا معرفة هذا السبب الا بصعوبة بالغة .

الإبصار أثناء الحركة السريعة

لقد ذكرنا سابقا ، بان الصور المختلفة للجسم الواحد بالذات ، تتوحد في العين اثناء التغيّر السريع وتخلق انطباعا بصريا عن وجود البروز .

وهنا نطرح السؤال التالي : هل يحدث هذا عندما تشاهد العين الساكنة ، الصور المتحركة فقط ، ام يحدث كذلك ، عندما تكون الصور ساكنة والعين متحركة بسرعة ؟

نعم ، ان التأثير الاستيريوسكوبي هو نفسه في كلتا الحالتين . ومن المحتمل ان يكون الكثير من القراء قد لاحظ ان الصور السينمائية الملتقطة من قطار سريع ، تظهر بشكل مجسم وبارز لا يقل روعة عن الشكل الذي نحصل عليه في الاستيريوسكوب . ويمكننا التأكد من ذلك بانفسنا ، اذا انتبهنا جيدا الى الانطباعات البصرية التي تتكون لدينا عند السفر في قطار سريع او سيارة . ان المناظر الطبيعية التي نراها في تلك الحالة ، تتميّز بتجسيمها ، وبانفصال خلفية المنظر عن اماميته انفصالا واضحا . ويزداد الاحساس بعمق المنظر ، ويزداد مدى الابصار الاستيريوسكوبي حتى يتجاوز بكثير ، تلك المسافة القصوى للابصار الاستيريوسكوبي بالنسبة للعين الساكنة ، والتي تقدر بـ ٤٥٠ م .

ولكن هل يكمن في ذلك ، سر الانطباع الممتع ، الذي يحدثه في انفسنا ، ذلك المنظر الطبيعي الذي نشاهده من نافذة القطار السريع ؟ ان المدى يزداد اتساعا ، ونستطيع ان نميّز عظمة المناظر الطبيعية المحيطة بنا بكل وضوح . وعندما نجتاز احدى الغابات بسيارة سريعة ، نرى — لنفس السبب السابق — ان كل شجرة وكل غصن وورقة ، تبدو امامنا محددة بوضوح في الفراغ ، وهي منفصلة عن بعضها وليست مندمجة في صورة واحدة ، كما تبدو للمراقب الساكن . وعند السفر السريع على طريق جبلي ، نرى التضاريس الارضية مباشرة بالعين ، وتبدو امامنا الجبال والوديان بانسجام محسوس . وسوف يتولد لدى الناس الذين لهم عين واحدة شعورا جديدا لم يعرفوه قبل ذلك . وقد ذكرنا سابقا ، انه بالنسبة لابصار الاجسام بشكل بارز ، لا تكون هناك ضرورة بالمرة ، كما يعتقد الناس عادة ، للنظر الى الصور المختلفة بكلتا العينين في وقت واحد . ان الابصار

الاستيريوسكوبى ، يتم كذلك بعين واحدة ، اذا كانت الصور المختلفة تندمج ، عند تغيّرها بسرعة كافية * .

ومن السهل جدا التحقق مما ذكرناه. وللقيام بذلك يجب علينا فقط ، ان ننتبه قليلا الى اننا نرى الاشياء المذكورة ونحن تجلس فى عربة القطار او فى السيارة . وعند ذلك ، من المحتمل ان يلاحظ القارئ ، ظاهرة اخرى عجيبة ، كتب عنها العالم دوفيه قبل مائة عام (حقا ، ان ما ننساه تماما ، نعتبره بعدئذ شيئا جديدا) ، ما يلى : ان الاجسام القريبة ، التى تمر امام النافذة بسرعة خاطفة ، تظهر لنا اصغر مما هى عليه فى الواقع . وتفسر هذه الحقيقة ، بسبب ليس له الا صلة بعيدة بالابصار الاستيريوسكوبى ، وهو على وجه الخصوص ، اننا عندما نرى الاجسام المتحركة بسرعة كبيرة ، نعتقد خطأً بانها قريبة منا . وعندما نناقش المسألة بدون وعى ، نقول : اذا كان الجسم قريبا منّا ، فيجب ان يكون فى الطبيعة ، اصغر مما هو عليه عادة ، ليظهر بالحجم الذى يتراءى لنا دائما . وهذا هو التفسير الذى جاء به العالم هيلمهولتز .

من خلال النظارة الملونة

اذا نظرنا من خلال زجاج احمر اللون ، الى كتابة بالخط الاحمر على ورقة بيضاء ، فسوف لا نرى سوى خلفيّة مستوية حمراء اللون . ولن نستطيع العثور على اى اثر للكتابة ، لان الحروف الحمراء تندمج مع الخلفيّة الحمراء . واذا نظرنا من خلال نفس الزجاج ، الى كتابة بالخط الازرق على ورقة بيضاء ، فسوف نرى بوضوح ، حروفا سوداء على ورقة حمراء . من اين أتت الحروف السوداء ؟ من السهل ادراك ذلك ، اذا علمنا ان الزجاج الاحمر لا يمرر الاشعة الزرقاء (وهو احمر اللون لانه لا يمرر سوى الاشعة

* وهذا سبب ذلك التجسيم الواضح للصور السينمائية ، اذا كانت ملتقطة من قطار متحرك يسير على خط منحن ، وكانت الاشياء التى يجرى تصويرها واقعة داخل الخط المنحنى . ان « تأثير السكة الحديدية » الذى تحدثنا عنه هنا ، معروف جيدا لدى المصورين السينمائيين .

الحمراء) . وهكذا ، فبدلا من رؤية الاشعة الزرقاء ، تلمس عدم وجود الضوء ، اى نرى حروفا سوداء .

ان التأثير الناتج عن الصور المسماة بالصور الاناغليفية — وهي صور مطبوعة بطريقة خاصة ، وتعطى نفس التأثير الذى تعطيه الصور الاستيريوسكوبية — مبنى على اساس الخاصية المذكورة للزجاج الملون . وفى الصور الاناغليفية ، تؤخذ كلتا الصورتين المطابقتين للعينين اليسرى واليمنى ، وتطبعان احدهما فوق الاخرى ، ولكن بلونين مختلفين هما الازرق والاحمر .

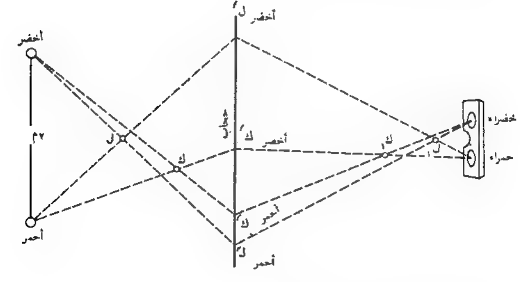
ولكى نرى بدلا من الصورتين الملونتين ، صورة واحدة سوداء ومجسمة ، يكفى ان ننظر اليهما من خلال نظارة ملونة . ان العين اليمنى لا ترى من خلال الزجاج الاحمر سوى الصورة الزرقاء ، اى الصورة التى تناسب العين اليمنى بالذات (ولا تبدو للعين ملونة ، بل سوداء) . اما العين اليسرى فلا ترى من خلال الزجاج الازرق سوى الصورة الحمراء المناسبة لها . ان كل عين لا ترى سوى صورة واحدة فقط ، هى الصورة التى تناسبها بالذات . ونرى هنا نفس الحالة التى نراها فى الاستيريوسكوب . وبالتالى ، يجب ان تكون النتيجة متماثلة ايضا ، اى يجب ان تبدو الصورة مجسمة .

«عجائب الظلال»

ان تأثير « عجائب الظلال » التى ظهرت فى وقت ما على شاشة السينما ، مبنىّ على نفس المبدأ الذى شرحناه الآن . وتتلخص « عجائب الظلال » ، فى ان ظلال الاجسام المتحركة ، التى تسقط على الشاشة ، تبدو للمشاهدين (الذين يضعون على اعينهم نظارات بلونين) على هيئة نماذج مجسمة ، تبرز بوضوح امام الشاشة . ويتم الحصول على الصور فى هذه الحالة ، بالاستفادة من تأثير الاستيريوسكوبية (المجسامية) ذات اللونين . يوضع الجسم المراد عرض ظله على المشاهدين ، بين الشاشة وبين مصدرين للضوء ، موضوعين بالقرب من بعضهما ، احدهما احمر والآخر اخضر . ويظهر على الشاشة عندئذ ،

ظلان ملونان – احمر واخضر ، يغطيان بعضهما البعض جزئيا . ولا ينظر المشاهدون الى تلك الظلال بصورة مباشرة ، بل من خلال نظارات ، تكون زجاجاتها مسطحة وذات لونين ، احمر واخضر .

وقد اوضحنا الآن ، انه تتكون في هذه الحالة ، صورة لنموذج مجسم ، يبرز امام الشاشة . وتكون الصورة التي نحصل عليها بواسطة « عجائب الظلال » ، مسلية للغاية . اذ يبدو احيانا ، ان الجسم المقذوف يتجه تماما نحو المشاهد ، او يبدو احد العناكب العملاقة وهو يسير في الهواء متجها نحو المشاهدين ، الامر الذي يجعلهم يصرخون دون ارادتهم ويديرون وجوههم . ان هذا الجهاز بسيط جدا ، كما يتضح من الشكل ١٣٤ ، حيث يبدو كل من المصباحين الاحمر والاخضر الى يسار الشكل ، ويمثل الحرفان ل وك ، الجسمين الموضوعين بين المصباحين والشاشة . اما الحرفان ل′ وك′ مع الاشارة الى اللون ، فيمثلان الظلال الملونة للجسمين ، كما تظهر على الشاشة ، ويمثل الحرفان



شكل ١٣٤ : سر « معجزات الظلال » .

ل$_{1}$ و ك$_{1}$ ، المحلّين ، اللذين يظهر فيهما الجسمان ، للمشاهد الذى ينظر اليهما من خلال الزجاجتين الملونتين ، الخضراء والحمراء ، الظاهرتين الى يمين الشكل المذكور . وعندما يتحرك العنكبوت الموجود وراء الشاشة من النقطة ك الى النقطة ل ، يبدو للمشاهد انه يتحرك من النقطة ك$_{1}$ الى النقطة ل$_{1}$.

وبصورة عامة . كلما اقترب الجسم الموجود وراء الشاشة ، من مصدر الضوء ، كلما عمل على تكبير الظل الساقط على الشاشة ، وبذلك يجعل المشاهد يتصور بان الجسم يتحرك من الشاشة ، متجها نحوه . ان كل جسم يبدو للمشاهدين وكانه يطير نحوهم ، متجها اليهم من الشاشة ، يتحرك في الواقع باتجاه معاكس — من الشاشة الى مصدر الضوء الموجود وراءها .

التغير المفاجئ للالوان

من الملائم هنا ان نتحدث عن سلسلة من التجارب ، التى نالت اعجاب زوار « جناح العلوم المسلية » فى المتنزه المركزى العام لمدينة لينينغراد . وقد نظم احد اركان ذلك الجناح ، على هيئة غرفة استقبال . وكانت هذه الغرفة تحتوى على اثاث باغطية برتقالية داكنة ، وعلى منضدة مغطاة بغطاء اخضر اللون ، وضع عليها دورق زجاجي يوجد فيه شراب التوت البرى وانواع من الورود ، وهناك رف رتبت عليه الكتب ، التى خطّت على اغلفتها كتابات ملونة . وتنار الغرفة فى بادئ الامر ، بالانارة الكهربائية ذات اللون الابيض العادى . وعندما يستبدل الضوء الابيض بضوء احمر ، يحدث فى الغرفة تغير مفاجئ . اذ يصبح لون الاثاث ورديا ، ويتحول لون الغطاء الاخضر الى لون بنفسجي داكن ، ويصبح الشراب عديم اللون مثل الماء ، اما الورود فتتغير الوانها تماما ، كما يختفى قسم من الكتابة الموجودة على غلافات الكتب ، دون ان يترك اى اثر ...

ثم تضاء الغرفة بضوء اخضر . وهنا تتبدل معالم الغرفة مرة اخرى ، تبدلا كليا . ان كل هذه التحولات المسلية ، توضح لنا بصورة جيدة ، نظرية نيوتن المتعلقة بالوان الاجسام . ويتلخص جوهر هذه النظرية ، فى ان سطح الجسم يتلون دائما بلون الاشعة

التى يبعثرها ، وليس بلون الاشعة التى يمتصها ، اى انه يظهر بلون الاشعة التى يوجهها نحو عين المراقب . وقد قام العالم الفيزيائى الانكليزى البارز جون تندال ، بوضع الصيغة التالية للحالة المذكورة :

« عندما نضيء الجسم بالضوء الابيض ، فان الضوء الاحمر يتكون نتيجة لامتصاص الاشعة الخضراء ، ويتكون اللون الاخضر نتيجة لامتصاص الاشعة الحمراء ، بينما تظهر بقية الالوان فى كلتا الحالتين ، بعد التحميض . وهذا يعنى ، ان الاجسام تكتسب الوانها بطريقة سلبية ، لان اللون لا ينتج عن اضافة ، بل ينتج عن حذف » .

اذن ، يكون للغطاء الاخضر ، لون اخضر عند وجود الضوء الابيض ، لان للغطاء المذكور قابلية جيدة لتشتيت الاشعة الخضراء والاشعة الملاصقة لها فى الطيف الشمسى اما قابليته لتشتيت بقية الاشعة ، فتكون ضعيفة ، لانه يمتص اكبر جزء من هذه الاشعة . واذا سلّطنا على مثل هذا الغطاء ، مزيجا من الاشعة الحمراء والبنفسجية ، فان الغطاء سوف لا يشتت تقريبا ، الا الاشعة البنفسجية وحدها ، بينما يمتص اكبر جزء من الاشعة الحمراء . عندئذ تشاهد العين لونا بنفسجيا داكنا .

وهذا هو تقريبا ، نفس السبب الذى يؤدى الى تغيّر الالوان فى غرفة الاستقبال . والشيء الذى يبقى محيّرا ، هو اختفاء لون الشراب : لماذا اصبح السائل الاحمر ، عديم اللون ، عند اضاءة النور الاحمر ؟ ان السبب يتلخص فى ان الدورق المحتوى على الشراب : موضوع على ورقة بيضاء مفروشة على الغطاء الاخضر . فاذا رفعنا الدورق عن الورقة البيضاء ، فاننا سنجد فى الحال ، ان السائل لا يبدو عديم اللون فى الضوء الاحمر ، بل احمر . ويكون السائل عديم اللون فى حالة واحدة ، هى عندما يوضع الدورق بالقرب من الورقة البيضاء ، التى تصبح حمراء عند اضاءة النور الاحمر . ولكننا مع ذلك ، نراها بيضاء ، لتعودنا على هذا الامر ، ونتيجة للتباين مع الغطاء الملون الداكن . ولما كان لون السائل الموجود فى الدورق ، مشابها للون الورقة ، الابيض الموهوم ، فاننا بدون ارادة ، نرى شراب التوت البرى بلون ابيض . ولهذا ، فانه لا يبدو امام اعيننا مثل شراب التوت البرى ، بل يبدو مثل الماء عديم اللون .

ويمكن اجراء مثل هذه التجارب المذكورة اعلاه ، بصورة مبسطة ، وللقيام بذلك يكفى الحصول على قطع زجاجية ملونة لكى تنظر من خلالها الى الاشياء المحيطة بنا .

ارتفاع الكتاب

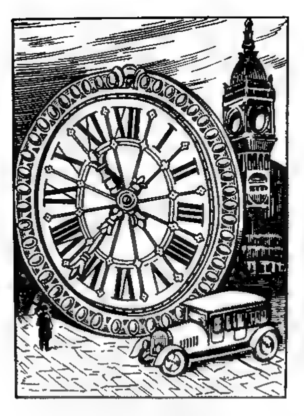
اطلب من ضيفك ان يقدّر لك باصبعه على الحائط ،كم يبلغ ارتفاع الكتاب الذى بين يديه ، اذا وضعناه على الارض بصورة عمودية . وعندما يفعل ذلك ، ضع الكتاب على الحائط بالفعل ، وسترى ان الارتفاع الذى قدره ضيفك ، هو ضعف ارتفاع الكتاب تقريبا !

وتكون التجربة اكثر نجاحا ، اذا لم ينحن ضيفك عند قيامه بتقدير الارتفاع ، بل يكتفى بالاشارة الى ذلك الموضع من الحائط ، الذى يعتقد انه يوازى ارتفاع الكتاب ، لنوضع عليه علامة . ومن البديهى ، اننا نستطيع القيام بالتجربة المذكورة ، مستخدمين اشياء اخرى عدا الكتاب ، مثل المصباح والقبعة وغير ذلك من الحاجيات التى اعتدنا ان نراها قريبا من مستوى النظر فى العادة .

ويكمن سر الخطأ عند تقدير الارتفاع ، فى ان كافة الاشياء تصبح اقصر مما هى عليه ، اذا نظرنا اليها بامتداد حافاتها الطويلة .

ابعاد ساعة البرج

ان الخطأ الذى ارتكبه ضيفك عند تقديره لارتفاع الكتاب ، نرتكبه نحن ايضا بصورة دائمية ، عندما نقدر ابعاد الاشياء الموجودة على ارتفاع كبير . والخطأ الذى نرتكبه عند تقديرنا لابعاد ساعة البرج ، هو خطأ مميّز بصورة خاصة . ونحن نعرف بالطبع ، ان مثل هذه الساعة ، تكون كبيرة الحجم جدا ، ومع ذلك . فان تقديرنا



شكل ١٣٥ : حجم ساعة برج ويستمينستر (بج بن) .

لحجمها يقل كثيرا عما هو عليه فى الحقيقة . ويبيّن الشكل ١٣٥ ، ميناء ساعة برج ويستمينستر (بج بن) المشهورة فى لندن ، عندما انزل من محله ووضع على قارعة الطريق .

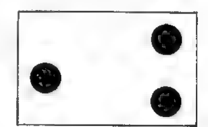
ان الانسان يبدو بحجم الحشرة الصغيرة ، عند مقارنته بحجم ذلك الميناء الضخم . وعندما ننظر الى برج الساعة الذى يبدو من بعيد ، فاننا لن نصدق بان حجم الفتحات الظاهرة فى البرج ، يساوى حجم الساعة المذكورة .

ابيض واسود

انظر من بعيد الى الشكل ١٣٦ ، ثم اذكر عدد الاقراص السوداء ، التى يمكن وضعها فى الفراغ الموجود بين القرص الايسر واحد القرصين الموجودين فى الجهة اليمنى — اربعة اقراص ام خمسة ؟ ستكون الاجابة على الاغلب ، بانه يمكن وضع اربعة اقراص ببساطة ، اما ما يتبقى من الفراغ ، فلن يتسع للقرص الخامس .

واذا قيل لك بان الفراغ المذكور ، لا يتسع لاكثر من ثلاثة اقراص بالضبط ، فانك سوف لا تصدق ذلك . خذ ورقة او فرجارا ، وتأكد من ذلك بنفسك .

ان هذه الخدعة العجيبة ، التى تبدو الاقراص السوداء طبقا لها ، اصغر من الاقراص البيضاء التى لها نفس الحجم ، تسمى بـ « الاشعاع » . وهى تعتمد على عدم كمال العين البشرية ، التى تعتبر كجهاز بصرى ، ولا تتلاءم تماما مع الشروط القاطعة التى يجب توفرها فى الاجهزة البصرية . ان اوساط الانكسار فى العين ، لا تطبع على الشبكيّة رسوما محيطية حادة الملامح ، كتلك التى نراها على الزجاج المسنفر لآلة التصوير المضبوطة جيدا. ونتيجة لما يسمى بالزيغ الكروى ، يحاط كل رسم محيطى فاتح اللون ، بحاشية نيّرة ، تعمل على زيادة ابعاده ، عند وقوعه على شبكية العين . وبالنتيجة ، فان الاقسام الفاتحة اللون ، تبدو لنا دائما ، اكبر من الاقسام السوداء المساوية لها .



شكل ١٣٦ : ان امتداد الفراغ الموجود بين القرص الايسر وكل من لقرصين الموجودين فى الجهة اليمنى ، يبدو اكبر من المسافة بين الحافات الخارجية للقرصين الموجودين فى الجهة اليمنى . اما فى الوقع فان البعدين المذكورين متساويان .

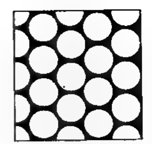
ونقدم الى القراء فيما يلى ، بعض ما جاء فى « نظرية الالوان » للشاعر الالمانى العظيم جوته ، الذى كان ملاحظا دقيقا جدا للظواهر الطبيعية (مع انه لم يكن على الدوام بالباحث الفيزيائى النظرى الدقيق) : « ان الجسم المعتم يبدو اصغر من الجسم النيّر (الفاتح) ، الذى

يساويه في الحجم ، فاذا نظرنا في وقت واحد ، الى قرص ابيض موضوع على سطح اسود ، والى قرص اسود بنفس القطر ، موضوع على سطح ابيض ، فان القرص الاسود يبدو لنا اصغر من القرص الابيض بمقدار $\frac{1}{5}$ مرة تقريبا . واذا كبّرنا القرص الاسود طبقا للمقدار المذكور ، عندئذ نرى القرصين بحجم متساو . ان هلال القمر يبدو لنا في اول الشهر وكأنه يحيط بدائرة اكبر قطرا من الدائرة التي تقع فيها بقية الاجزاء المعتمة من القمر ، والتي تبدو احيانا متميّزة ، في مثل هذه الحالة (الضياء الرمادي للقمر — بيريلمان) . ان الانسان يبدو في الملابس السوداء ، انحف مما يبدو في الملابس الفاتحة الالوان . ان الضوء القادم من وراء حافات الجسم ، يبدو وكأنه يقطع ذلك الجسم . ان المسطرة ، التي ينبعث من ورائها لهب الشمعة ، تبدو وكأنها تحتوي على ثلمة في ذلك الموضع . والشمس عند شروقها وغروبها ، تحدث ما يشبه التجويف في الافق » .

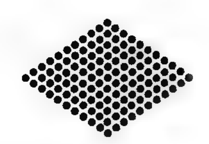
ان كل ما جاء في تلك الملاحظات ، يعتبر صحيحا ، ما عدا التأكيد بان القرص الابيض يبدو وكأنه اكبر من القرص الاسود الذي يماثله ، بنفس ذلك المقدار الجزئي دائما . ان الزيادة تعتمد على المسافة التي ينظر منها الى تلك الاقراص . والآن ، يتضح لنا لماذا يكون الامر بهذا الشكل .

نبعد الشكل ١٣٦ ، الى مسافة بعيدة عن العين ، فنرى ان الخدعة تصبح اكثر تأثيرا واكثر مدعاة للدهشة . ان هذا يفسر بان عرض الحاشية الاضافية يبقى ثابتا على الدوام . واذا كانت الحاشية ، عند وقوع القرص الابيض على مسافة قريبة ، تزيد عن مساحته بمقدار ١٠٪ فقط ، فعند وقوعه على مسافة بعيدة ، حيث يصغر بالذات ، عندئذ سوف لا تساوي تلك الزيادة نفسها ، ١٠٪ ، بل ستساوي مثلا ٣٠٪ او حتى ٥٠٪ من مساحة القرص . ان خاصية العين المشار اليها ، توضح لنا كذلك ، الخصائص الغريبة التي توجد في الشكل ١٣٧ .

اذا نظرنا الى الشكل المذكور من مسافة قريبة . لرأينا عددا من الاقراص البيضاء ، المرسومة على صفحة سوداء . ولكن عندما نبعد الكتاب عن العين ، وننظر الى الشكل



شكل ١٣٧ : اذا نظرنا الى هذا الشكل من مسافة بعيدة نوعا ما ، لرأينا ان الاقراص البيضاء تتحول الى مسدسات منتظمة .



شكل ١٣٨ : ان الاقراص السوداء تبدو من مسافة بعيدة وكأنها مسدسات منتظمة .

من مسافة خطوتين او ثلاث خطوات ، واذا كان نظرنا قويا ، ننظر اليه من مسافة تتراوح بين ٦ و٨ خطوات ، سنرى ان الشكل يتغيّر بوضوح ، وستظهر امامنا بدلا من الاقراص ، مسدسات بيضاء تشبه خلايا النحل .

انني لست مقتنعا تماما بتفسير خدعة الاشعاع هذه ، منذ ان لاحظت ان الاقراص السوداء المرسومة على صفحة بيضاء ، تبدو من بعيد على هيئة مسدسات ايضا (شكل ١٣٨) ، مع ان الاشعاع في هذه الحالة ، لا يكبّر الاقراص بل يصغرها . ويجب القول بان التفسيرات التي تعلل الخداع البصري بصورة عامة ، لا يمكن اعتبارها مقنعة تماما ، كما ان معظم الخدع البصرية لا تجد لها تفسيرا لحد الآن .

اي الحروف اكثر اسودادا ؟

ان الشكل ١٣٩ * ، يجعلنا نكتشف نقصا آخر في عيوننا يسمى بـ « اللانقطية » . واذا نظرنا الى الشكل المذكور بعين واحدة ، لظهر لنا بان الحروف المبينة فيه ، ليست كلها متماثلة الاسوداد . لاحظ اي الحروف الاربعة اكثر اسودادا . ثم ادر الشكل

* ان الكلمة المبينة في الشكل ١٣٩ هي كلمة روسية وتعني « عين » .

3 Зак .5662

ГЛАЗ

شكل ١٣٩ : عندما ننظر الى هذا الشكل بعين واحدة ، يبدو لنا ان احد الحروف اكثر اسودادا من الحروف الاخرى .

جانبا ، وسترى تغيرا مفاجئا . اذ يصبح الحرف الأكثر اسودادا ، رماديا ، ويبدو احد الحروف الاخرى اكثر اسودادا .

وفي الحقيقة ، فان جميع الحروف الاربعة متماثلة الاسوداد ، ولكنها مظللة في اتجاهات مختلفة فقط . فاذا كانت العين خالية من النقص ، كبقية العدسات الزجاجية ، لما اثّر اتجاه التظليل ، على اسوداد الحروف . ولكن العين البشرية ، لا تكسر الاشعة بصورة متساوية تماما في مختلف الاتجاهات . ولهذا السبب ، لا يمكننا في الحال ، ان نرى الخطوط العمودية والافقية والمائلة ، بدرجة متساوية من الدقة والوضوح . ولا يوجد الا القليل النادر من الناس ، الذين تخلو عيونهم من هذا النقص . وتصل « اللاانقطية » عند بعض الناس الى درجة كبيرة ، تؤثر على النظر ، اذ تقلل من حدته . ولهذا يضطر مثل هؤلاء الناس الى استعمال النظارات لكي يتمكنوا من الرؤية بوضوح .



شكل ١٤٠ : الصورة المحيرة .

وتوجد في العين ، عيوب عضوية اخرى ، يمكن تلافيها عند صنع الاجهزة البصرية . وقد تحدث العالم الشهير هيلمهولتز، عن هذه العيوب ، فقال :

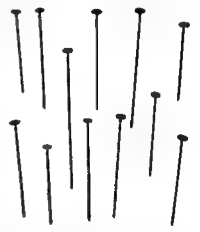
« اذا فكر احد صناع الادوات البصرية ، بان يبيعني جهازا له مثل هذه العيوب .

لشعرت بانني على حق تماما ، اذا اعتبرت ذلك الرجل غير دقيق في عمله ، واعدت اليه الجهاز مقرونا بالاحتجاج » .

ولكن بالاضافة الى هذه الخدع ، التي تقترن بوجود عيوب معروفة في التركيب ، فان عيوننا تقع تحت تأثير عدد من الخدع ، التي تكون لها اسباب اخرى ، تختلف تمام الاختلاف عن الاسباب المذكورة اعلاه .

الصور الحيّة

من المحتمل ان يكون معظم القراء قد شاهد الصور ، التي لا ينظر الشخص الظاهر فيها باتجاه المشاهدين فحسب ، بل يلاحقهم بعينيه ، اللتين يوجههما الى الجهة التي يقصدها المشاهدون . ان هذه الخاصية الطريفة لتلك الصور ، معروفة منذ مدة طويلة ، وكانت تحيّر كثيرا من الناس دائما ، وحتى انها كانت تخيف الناس العصبيّين : وقد وصف الكاتب الروسي الشهير جوجول ، تلك الحالة وصفا بديعا في قصته « الصورة » ، حيث قال : « حدقت اليه العينان ، وبدا وكانهما لا تريدان النظر الى اي شيء آخر سواه ... لقد تجاوزتا كل شيء حولهما ، وراحتا تحدقان اليه تماما ، وتصل نظراتهما الى اعماقه ببساطة ... »



شكل ١٤١ : اذا اغمضنا احدى العينين وركزنا العين الاخرى في نقطة تلاقي امتدادات الدبابيس بصورة تقريبية ، لظهرت هذه الدبابيس وكأنها مغروزة في الورقة تماما . وعندما نحرك الشكل من جهة الى اخرى بهدوء ، نرى ان الدبابيس تتمرجح تبعا لذلك .

وهناك كثير من الاساطير الخرافية ، المتصلة بهذه الخاصية الغامضة ، للعينين الظاهرتين في تلك الصور المذكورة . اما في الحقيقة ، فهي لا تخرج عن كونها خدعة

بصرية . ان الخدعة تتلخص في ان حدقة العين في هذه الصور ، ثابتة في وسط العين . وبهذا الشكل بالذات ، تبدو لنا عينا الشخص الذى ينظر الينا باستقامة تامة ، اما عندما ينظر الى احدى الجهات الاخرى ويمرر نظره بقربنا ، فان الحدقة وقزحية العين باكملها ، لا تظهران لنا في وسط العين ، بل تكونان مزاحتين قليلا نحو طرف العين . وعندما نبتعد قليلا عن الصورة في احد الاتجاهات ، فان الحدقتين لا تغيّران من موقعهما بطبيعة الحال ، بل تبقيان في وسط العين . ولما كنا بالاضافة الى ذلك ، لا نزال نرى الوجه باكمله ، على وضعيته السابقة بالنسبة الينا ، فمن الطبيعي ان يبدو لنا وكأن الشخص الذى في الصورة ، قد ادار رأسه نحونا وأخذ يتتّبعنا .

وبنفس الطريقة ايضا ، تفسّر الخواص المحيرة الاخرى لبعض الصور : حصان ينطلق نحونا باستقامة تامة ، ورجل يشير الينا باصبعه مهما تنّحينا جانبا عن الصورة ، اذ تبقى يده ممتدة الى الامام ، باتجاهنا مباشرة ، وغير ذلك من الصور الاخرى. ويبيّن الشكل ١٤٠ ، نموذجا لتلك الصور . وكثيرا ما تستخدم مثل هذه اللوحات، لاغراض الدعاية والاعلان .

واذا فكرنا مليّا في سبب تلك الخدع البصرية ، لا تضح لنا انها ليست فقط غير مدهشة ، وانما العكس ، اذ كان الامر سيدعو الى الدهشة لو لم تكن للصور المذكورة مثل هذه الخاصيّة .

انواع اخرى من الخداع البصري

ان مجموعة الدبابيس المبينة في الشكل ١٤١ ، ليس فيها ما يدعو الى الدهشة للوهلة الاولى . ولكن اذا رفعنا الكتاب الى مستوى النظر ، واغمضنا احدى العينين ، ونظرنا الى تلك الدبابيس ، بحيث يتزلق خط الرؤية على طول الدبابيس (يجب ان تستقر العين في النقطة التي تتقاطع فيها امتدادات الدبابيس) ، لرأينا عندئذ ، بان الدبابيس تبدو وكأنها غير مخططة على الورقة ، بل مغروزة فيها عموديا . وعندما ندير وجهنا قليلا الى احدى الجهات ، نرى وكأن الدبابيس تميل الى نفس الجهة ايضا .

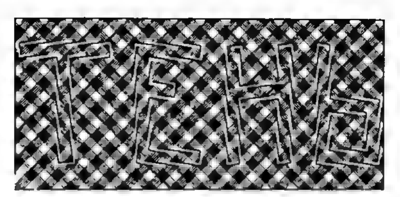
وتفسّر هذه الخدعة البصرية ، بقوانين الشكل المنظورى : لقد رسمت الخطوط ، تبعا لمساقط الدبابيس المذكورة ، على الورقة التى غرزت فيها ، عندما ينظر اليها بالطريقة المبينّة اعلاه .

ولا يجب علينا مطلقا ان نعتبر الاستسلام لخداع البصر ، نتيجة لاحد العيوب البصرية الموجودة فى العين فقط . ولهذا الاستسلام ، فائدة كبيرة جدا ، غالبا ما تغيب عن الاذهان . فاذا لم تكن العين تخضع لاى خداع بصرى ، لما رأينا المناظر الطبيعية ، ولحرمنا من التمتع بمشاهدة كافة اللوحات الفنية الجميلة . ويستفيد الرسامون كثيرا من هذه العيوب البصرية الموجودة فى العين .

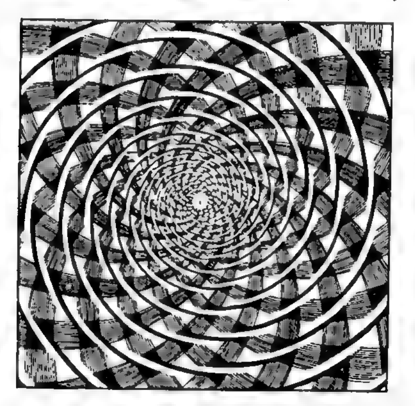
وقد كتب العالم العبقرى ايلر — الذى عاش فى القرن الثامن عشر — فى ابحاثه المشهورة « رسائل حول مختلف المسائل الطبيعية » ما يلى :

« وعلى هذا الخداع البصرى ، تقوم كافة الفنون الرائعة المنظر . فلو كنا قد اعتدنا الحكم على الاشياء ، انطلاقا من الحقيقة ، لما استطعنا رؤية هذه الفنون (اى اللوحات الفنية) ، تماما كما لا يراها الاعمى . ولحاول كلّ رسام عبثا ، ان يمزج بين الالوان . لاننا سنقول عندما ننظر اليها : هنا اللون الاحمر ، وهناك الازرق ، وهذا الاسود ، وهذه خطوط بيضاء . وستكون كافة الاشياء فى مستوى واحد ، ولن يكون هناك اختلاف فى المسافات ، ولن يمكننا وصف اى جسم . ولظهرت لنا كافة الاشياء التى اراد الرسام ان يعبر عنها ، بمثابة كتابة على ورقة . وبعد هذا كله ، اما كنا سنستحق الاشفاق . لو اننا فقدنا الاحساس بهذه المتعة ، التى نشعر بها عند مشاهدة اللوحات الفنية والمناظر الجميلة على الدوام ؟ » .

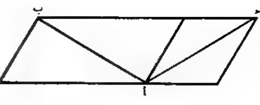
وتوجد انواع كثيرة جدا من خداع البصر ، ويمكننا ان نملأ البوما كاملا بامثلة متنوعة من تلك الخدع المصورة . وكثير من هذه الخدع معروف لدى القراء جيدا ، وبعضها غير معروف بهذه الدرجة . واقدم الآن للقراء ، بعض الامثلة الممتعة الاخرى ، الخاصة بخداع البصر ، والقليلة الانتشار بين الجماهير . هناك تأثير خاص للخدعتين البصريّتين ، المبينتين فى الشكلين ١٤٢ و١٤٣ ، اللذين يحتويان على بعض الخطوط



شكل ١٤٢ : ان هذه الحروف مرتبة بصورة عمودية .



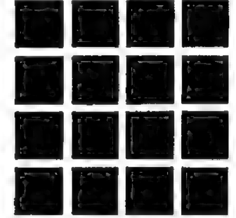
شكل ١٤٣ : يبدو للقارئ بأن هذه الخطوط حلزونية ، بينما هي عبارة عن دوائر مستقلة . ويمكن التأكد من ذلك بسهولة ، اذا تتبعنا تلك الخطوط برأس القلم .



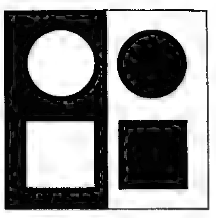
شكل ١٤٤ : ان المسافتين أب و أ ج متساويتان ، ولو ان المسافة الاولى تبدو اكبر من الثانية .



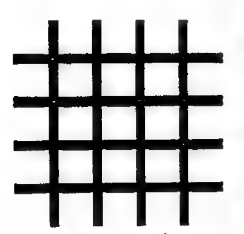
شكل ١٤٥ : يبدو للقارئ بأن الخط المائل ، الذى يقطع الشرائط البيضاء والسوداء ، هو عبارة عن خط متكسر .



شكل ١٤٧ : يبدو للقارئ بأن هناك بقعا رمادية مربعة تظهر وتختفى فجأة فى اماكن تقاطع الشرائط البيضاء مع بعضها . اما فى الواقع فان الشرائط ناصعة البياض كليا ، الامر الذى يمكن التأكد منه بسهولة وذلك بتغطية المربعات السوداء المجاورة للشرائط ، بورقة بيضاء . ان سبب ظهور تلك البقع يعود الى التباين .



شكل ١٤٦ : ان المربعين الاسود والابيض متساويان تماما ، كما ان القرصين متساويان ايضا .



شكل ١٤٨ : تظهر بقع رمادية خفيفة فى اماكن تقاطع الشرائط السوداء مع بعضها .

المرسومة على ورقة (لوحة) ذات خلفية شبكية . ان العين لاتصدق ابدا ، ان الحروف الموجودة فى الشكل ١٤٢ ، موضوعة بصورة عمودية . ومن الاصعب ان نصدق ان الشكل ١٤٣ ، لا يبيّن لنا حلزونا . وفى هذه الحالة ، سنضطر الى التأكد من الشكل بانفسنا ، بالفحص المباشر ، وذلك بوضع رأس القلم على احدى لفات الحلزون الموهوم ، ثم تحريكه تبعا للقوس ، دون الاقتراب من المركز او الابتعاد عنه . وبنفس الطريقة ، ولكن باستخدام فرجار ، يمكننا التأكد من ان الخط المستقيم أج (شكل ١٤٤) ، ليس اقصر من الخط المستقيم أب . اما حقيقة الخدع البصرية الاخرى التى تتضح من الاشكال ١٤٥ و١٤٦ و١٤٧ و١٤٨ ، فتفسّرها الكتابة الموجودة تحت كل منها . والحادثة الطريفة التالية ، تبيّن مدى تأثير الخدعة المبينة فى الشكل ١٤٧ : عندما تسلم احد ناشرى احدى طبعات الكتاب السابقة الكليشيه المذكورة من ورشة الزنكوغراف ، اعتقد بان الكليشيه غير متقنة الصنع ، واراد ان يعيدها الى الورشة لازالة البقع الرمادية الظاهرة عند تقاطع الاشرطة البيضاء فيها . ولكننى دخلت الغرفة بالصدفة ، وشرحت له حقيقة الامر .

الرؤية عند المصابين بقصر البصر

ان الشخص المصاب بقصر البصر ، لا يرى جيدا بدون نظارات . ولكن ، ماذا يرى على وجه الخصوص ، وكيف تبدو الاشياء بالنسبة اليه : هذا ما لا يعرفه الاشخاص الذين يتمتعون بنظر سليم . وبهذه المناسبة ، نقول بان عدد المصابين بقصر ، البصر كبير نوعا ما ، ومن المفيد ان نتعرف على الصورة التى يرون بها العالم المحيط بنا .

ويجب قبل كل شيء ، ان نذكر بان الشخص القصير البصر (بدون نظارات طبعا) ، لا يرى الرسوم المحيطية الحادة الملامح ، وتبدو كافة الاشياء امامه بصورة مشوشة . ان الشخص السليم النظر ، عندما ينظر الى احدى الاشجار ، فانه يميز الاوراق والاغصان المنفردة ، التى طبعت فى السماء بوضوح . اما قصير البصر ، فلا

يرى سوى كتلة خضراء مشوشة ، ذات ملامح خيالية غير واضحة . ناهيك عن الاجزاء الدقيقة التي تغيب عن ناظريه .

ويبدو وجه الانسان ، بالنسبة لقصار البصر ، اكثر حداثة وفتنة ، مما يبدو عليه بالنسبة للاشخاص الذين يتمتعون بنظر طبيعي . لان قصار البصر لا يرون التجاعيد والشوائب الاخرى ، الظاهرة على وجه الانسان ، ويرون لون البشرة الاحمر الخشن (طبيعيا كان ام اصطناعيا) ، وكأنه وردي رقيق . وكثيرا ما نتعجب من سذاجة بعض الاصدقاء ، الذين يخطئون في تقدير اعمار الناس ، فيصغرونها بمقدار ٢٠ سنة تقريبا ، ويدهشنا ذوقهم الغريب في تقدير الجمال ونتهمهم بعدم اللباقة ، عندما يحملقون في وجوهنا تماما ، وكأنهم يتجاهلوننا ... ان هذا كثيرا ما يحدث ، بسبب قصر البصر فقط.

ويتحدث الشاعر ديلفيج — وهو صديق الشاعر العظيم بوشكين ومعاصره — عن ذكرياته فيقول : « لقد منعوني في مدرسة ابناء الذوات — الليسيه — من وضع النظارة على عينيّ ، ولهذا كنت أرى كافة النساء رائعات الجمال ، ولكنني اصبت بخيبة امل كبيرة بعد التخرج من تلك المدرسة ! » . وعندما يتحدث اليك (بدون نظارة) شخص قصير البصر ، فانه لا يرى وجهك مطلقا ، او على كل حال يرى شيئا يختلف عما تتوقعه ، وتبدو امامه صورة مشوشة ، ولا تتعجب اذا قابلك بعد ساعة واحدة ، ولم يتعرف عليك ثانية . ويتعرف الشخص القصير البصر على الناس ، من اصواتهم ، اكثر مما يتعرف عليهم من وجوههم ، لان النقص في قوة البصر ، يعوض بزيادة في قوة السمع .

ومن الطريف ايضا ، ان نعرف كيف تبدو الدنيا في الليل ، بالنسبة لقصار البصر . عند الاضاءة الليلية : تبدو جميع الاجسام الوضّاحة — الانوار والمصابيح والنوافذ المضاءة — ، بالنسبة لقصار البصر ، وكأنها قد ازدادت حجما الى درجة كبيرة ، وبذلك تتحول الصورة الى منظر مشوش من البقع المضيئة ، التي ليس لها شكل معيّن ، ومن الاشباح السوداء المبهمة . فبدلا من خطوط الانوار الموجودة على الشارع . يرى قصار البصر ، بقعتين او ثلاث بقع ضخمة مضيئة ، تحجب عن انظارهم كل ما تبقى

من الشارع . وهم لا يميّزون السيارة المقتربة منهم ، ويرون بدلا منها هالتين مضيئتين (المصابيح الامامية) ، ومن ورائهما كتلة سوداء .

وحتى ان منظر السماء فى الليل يختلف تماما ، بالنسبة لقصار البصر ، عما هو عليه بالنسبة للناس السليمى البصر . ان الشخص القصير البصر ، لا يرى فى هذه الحالة ، سوى النجوم ذات الحجوم النجمية الثلاثة او الاربعة الاولى ، وبالتالى فبدلا من رؤية عدة آلاف من النجوم ، لا يرى سوى عدة مئات منها . وهذه النجوم القليلة التى يشاهدها ، تبدو امامه كندف ضخمة من الضوء . والقمر يبدو بالنسبة لقصار البصر ، ضخما وقريبا جدا ، اما الهلال ، فيأخذ في نظرهم شكلا خياليا مبتكرا .

ان سبب كل هذه التشوهات والزيادة الوهمية فى حجوم الاجسام ، يكمن فى تركيب عين الشخص القصير البصر . وتكون العين القصيرة البصر ، عميقة جدا ، بحيث ان انكساريتها المختلفة ، لا تجمع الاشعة القادمة من الاجسام الخارجية ، على شبكية العين بالضبط ، بل تجمعّها امام الشبكية بمسافة قليلة . وهكذا تصل حزم الاشعة المتفرقة ، الى الشبكية المفروشة فى قعر العين ، وتطبع عليها صورا مشوشة وغير واضحة .

الفصل العاشر | الضوء والسمع

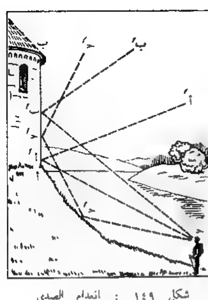
البحث عن الصدى

يحدثنا الكاتب الامريكي الساخر مارك توين ، في احدى قصصه الهزلية ، عن النكبات التي اصابت ذلك الرجل الذي اختار لنفسه هواية لا تخطر على بال انسان ، الا وهي جمع الصدى ! وقد قام هذا الرجل الغريب الاطوار ، بشراء جميع قطع الارض ، التي كان يتردد فيها الصدى المضاعف ، او اي صدى حقيقي غريب .

« وفي اول الامر اشترى في ولاية جورجيا ، صدى يتردد اربع مرات ، وآخر في ولاية ماريلاند ، يتردد ست مرات ، ثم اشترى في مدينة ميني ، صدى يتردد ثلاث عشرة مرة . وتمت الصفقة التالية في كنساس ، حيث اشترى صدى يتردد تسع مرات ، ثم تلتها صفقة اخرى بشراء صدى يتردد اثنتي عشرة مرة ، في تينيسي ، وكانت هذه الصفقة الاخيرة رخيصة ، لان الصدى كان بحاجة الى ترميم ، بعد انهيار قسم من الصخور التي كانت تردد الصدى . وقد ظن ان بالامكان ترميم الصدى ، باتمام اقامة الصخور . ولكن المهندس المعماري الذي تولى الامر ، لم يسبق له ان بنى صدى . ولذا ، فقد افسده في نهاية الامر . اذ اصبح بعد التعمير لا يصلح الا لان يكون مأوى للصمّ والبكم ... » .

ان هذا نوع من الهزل طبعا . ولكن توجد في الحقيقة ، انواع مدهشة من الصدى المضاعف ، في مختلف بقاع الارض ، وعلى الاغلب في المناطق الجبلية ، وقد اشتهرت بعض هذه المناطق على نطاق عالمي منذ قديم الزمان .

وفيما يلي نذكر بعض الاصداء المشهورة . ان الصدى في قصر دووستوك في انجلترا ، يردد ١٧ مقطعا صوتيا بوضوح . وردد الصدى في اطلال قصر ديربنبرج في ضواحي مدينة جالبيرشتاد بالمانيا ، ٢٧ مقطعا صوتيا ، قبل ان يتهدم احد جدرانه بتأثير القنابل . وهناك مكان معيّن في الدارة الصخرية ، بالقرب من مدينة اديرسباخ في تشيكوسلوفاكيا ، يردد فيه الصدى ٧ مقاطع ، لثلاث مرات على التوالي ، ولكن على بعد عدة خطوات من ذلك المكان ، لا يسمع اي صدى حتى لازيز طلقة البندقية . وقد كان اكبر صدى مضاعف ، يحدث في احد القصور القريبة من مدينة ميلان (غير موجود الآن) . اذ كان يردد ازيز الرصاصة المنطلقة من احدى نوافذ القصر ، عددا من المرات يتراوح بين ٤٠ — ٥٠ مرة ، ويردد الكلمة المنطوقة بصوت عال ، ٣٠ مرة .



شكل ١٤٩ : انعدام الصدى

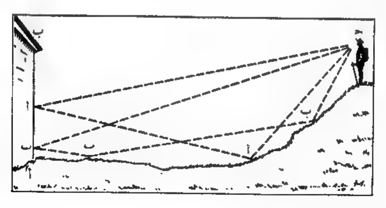
وليس من السهل العثور على المكان الذي يسمع فيه الصدى بوضوح ، ولو مرة واحدة . غير ان البحث عن مثل هذا المكان ، لا يتطلب جهدا كثيرا نوعا ما . ويوجد كثير من السهول المحاطة بالغابات ، وكثير من المروج في الغابات ، حيث يمكننا ان نصيح بصوت عال ، لنسمع الصدى الذي تردده الغابة ، بدرجة معينة من الوضوح .

ويكون الصدى في الجبال اكثر تنوعا مما هو عليه في السهول ، ولكن حدوثه في الجبال اقل كثيرا من حدوثه في السهول . وسماع الصدى في الجبال ، اصعب من سماعه في السهل المحاط بغابة .

والآن ، سنشرح سبب ذلك . ان الصدى ما هو الا عبارة عن ارتداد الموجات الصوتية ، المنعكسة عن احد الحواجز . وكما في حالة انعكاس الضوء ، فان زاوية سقوط

« الشعاع الصوتي » ، تساوي زاوية انعكاسه (ان الشعاع الصوتي ، هو الاتجاه الذي تسلكه الموجات الصوتية) .

والآن ، تصور انك تقف عند سفح احد الجبال (شكل ١٤٩) ، وان الحاجز الذي يجب ان يعكس الصوت ، يقع اعلى من المكان الذي تقف عليه ، مثلا في أب . وتدرك بسهولة ، ان الموجات الصوتية التي تنتشر باتجاهات الخطوط جـ أ ، جـ ب ، جـ جـ ، سوف لا تنعكس واصلة الى اذنك ، بل تنعكس متشتتة في الفضاء باتجاهات الخطوط أ أ ، ب ب ، جـ جـ . وسوف يختلف الامر ، لو وقفت في مكان يقع في مستوى الحاجز ، او حتى اعلى منه بقليل (شكل ١٥٠) . ان الصوت المتجه الى الاسفل ، باتجاه الخطوط جـ أ و جـ ب ، سوف يعود واصلا الى اذنك باتجاه الخطين المنكسرين جـ أ أ جـ او جـ ب ب جـ ، بعد ان ينعكس عن الارض مرة واحدة او مرتين . ان الوادي الموجود بين النقطتين ، سوف يساعد على وضوح الصدى ، لانه يعمل عندئذ عمل المرآة المقعرة . ويحدث العكس ، اذا كانت الارض الموجودة بين النقطتين ، محدبة ، اذ يصل الصوت الى الاذن بصورة ضعيفة ، او لا يصلها البتة . ان مثل هذه الارض المحدبة ، تشتت « اشعة » الصوت ، كما تشتت المرآة المحدبة اشعة الضوء .



شكل ١٥٠ : صدى واضح .

ان البحث عن الصدى في المناطق الوعرة ، يتطلب حذاقة معينة . حتى سند العثور على المكان الملائم ، يجب بعد ذلك ان نعرف كيف نحدث الصدى . ومن الضروري قبل كل شئ ، عدم الوقوف على مقربة تامة من الحاجز ، اذ يجب ان يقطع الصوت ، مسافة طويلة كافية ، والا رجع الصدى مبكرا ، واندمج بالصوت نفسه . واذا علمنا بان الصوت يقطع ٣٤٠ م في الثانية ، يمكننا بسهولة ان نفهم ، باننا عندما نقف على بعد ٨٥ م من الحاجز ، يجب ان نسمع الصدى ، بعد نصف ثانية من حدوث الصوت بالضبط .

ان الصدى لا يستجيب لكافة الاصوات بصورة متساوية ، فكلما زادت حدة الصوت ، كلما زاد وضوح الصدى . واحسن طريقة لاحداث الصدى ، هي التصفيق باليدين . وصوت الانسان اقل ملاءمة لهذا الغرض ، خاصة صوت الرجل . والاصوات الرفيعة لدى النساء والاطفال ، تحدث صدى اكثر وضوحا .

الصوت بدلا من شريط القياس

اذا عرفنا سرعة انتشار الصوت في الهواء ، يمكننا استخدامها بعد ذلك لقياس المسافة التي تفصلنا عن الاجسام التي لا نستطيع الوصول اليها . وقد وصف جول فيرن مثل هذه الحالة في روايته « رحلة الى مركز الارض » . وخلال الرحلة في جوف الارض ، فقد اثنان من الرحالة بعضهما البعض ، وهما البروفيسور وابن اخيه . واخيرا ، عندما تمكنا في النهاية من تبادل سماع الاصوات من مسافة بعيدة ، جرى بينهما الحديث التالي : صاح ابن اخ البروفيسور مناديا عمه :

— اين انت ايها العم ؟ !

وبعد مدة قليلة سمع صوت البروفيسور :

— انا هنا يا صغيري ، ماذا بك ؟

— اريد قبل كل شيء ان اعرف ما هي المسافة التي تفصلنا عن بعضنا ؟

– ليس من الصعب معرفة ذلك .

– هل بحوزتك كرونومتر ؟

– نعم .

– ضعه اذن امامك ، ثم انطق اسمى ، ولاحظ الوقت الذى تبدأ فيه الكلام بالضبط . وانا بدورى ساعيد نطق الاسم حالما يصل الى سمعى ، ويجب كذلك ان تلاحظ الوقت الذى تسمع فيه جوابى بالضبط .

– حسنا . عندئذ سيكون نصف الوقت الذى يمضى بين السؤال والجواب ، بمثابة الوقت الذى يقطع فيه الصوت ، المسافة الموجودة بيننا . هل انت مستعد ؟

– نعم .

– انتبه ! سانطق اسمك .

ويستمر ابن الاخ فى حديثه قائلا : والصقت اذنى بالحائط . وما ان سمعت كلمة « اكسيل » – اسم المتحدث – حتى رددتها فى الحال ، ورحت انتظر .

واتانى صوت العم قائلا :

– اربعون ثانية ، اذن وصلنى الصوت خلال عشرين ثانية . ولما كان الصوت يقطع ثلث كيلومتر فى الثانية الواحدة ، تكون المسافة التى تفصلنا عن بعضنا ، مساوية لسبعة كيلومترات تقريبا (لقد ارتكب المؤلف هنا خطأ فى الحساب ، وذلك لان سرعة الصوت تزداد بزيادة كثافة الوسط الذى ينتقل فيه . مثلا ، سرعة الصوت فى ماء البحر هى ١٤٩٠ م/ثانية ، وتزداد سرعته كثيرا فى المواد الصلبة) .

واذا كان القارئ قد فهم جيدا كلّ ما جاء فى الحديث السابق ، سيكون باستطاعته عندئذ ، حل المسألة التالية :

اذا سمع احد الاشخاص صفير قطار بعيد ، بعد ثانية ونصف من رؤية الدخان الابيض ، الذى ينشأ عنه الصفير ، فما هى المسافة الموجودة بينه وبين القطار ؟

ان كلاً من جدار الغابة ، والسياج الخشبي العالي والمبنى والجبل ، وبصورة عامة كل حاجز يعكس الصدى ، ما هو الا عبارة عن مرآة صوتية : اذ انه يعكس الصوت ، تماما كما تعكس المرآة المستوية الضوء .

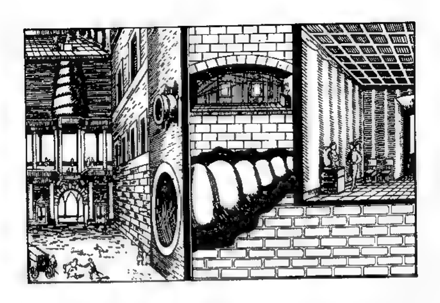
ولا تكون المرايا الصوتية مستوية فقط ، بل تكون مقعرة ايضا . ان المرايا الصوتية المقعرة ، تعمل عمل العاكس ، حيث تركز « الاشعة الصوتية » في بؤرتها .

ويمكننا القيام بتجربة ممتعة من هذا القبيل ، اذا احضرنا طبقين من اطباق الحساء . نضع احد الطبقين على المنضدة ، ونتناول ساعة جيب ، ونضعها في يدنا على بعد عدة سنتمترات عن قعر الطبق . ونمسك الطبق الثاني قريبا من اذننا ، كما يبيّن الشكل ١٥١ . فاذا كان وضع الساعة والاذن والطبقين ، صحيحا (يتم التوصل الى ذلك بعد عدد من المحاولات) ، لسمعنا دقات الساعة ، كما لو كانت تنبعث من الطبق القريب من الاذن بالضبط . وعندما نغمض عينينا ، يزداد تأثير ذلك الانطباع ، حتى اننا لا نستطيع في هذه الحالة ان نميّز تماما ، باية يد نمسك الساعة — باليمنى ام باليسرى .

وكثيرا ما قام بناءوا القصور في القرون الوسطى ، بالعمل على خلق العجائب الصوتية ، وذلك بوضع تمثال نصفي اما في بؤرة مرآة صوتية مقعرة ، او عند نهاية انبوب تخاطب مخفي في الجدار بصورة فنيّة . ويبيّن الشكل ١٥٢ ، المأخوذ من كتاب قديم صدر في القرن السادس عشر ، تلك الادوات المنجزة بحيلة ودهاء : سقف على هيئة عقد (قبّة) ، يوّجه الى شفتي التمثال النصفي ، الاصوات القادمة من الخارج عن طريق انبوب التخاطب ، وهناك انابيب تخاطب ضخمة ، مثبتة بالطوب في البناية ، تنقل الاصوات المختلفة من الفناء الخارجي الى التماثيل المرمرية ، المثبتة عند جدران احدى قاعات القصر .. الخ . ويبدو لمن يزور مثل هذه الاماكن ، وكأن التماثيل المرمرية ، تتهامس وتغني ... وما شابه ذلك .



شكل ١٥١ :
المرايا الصوتية المقعرة .



شكل ١٥٢ : مصادر الاصوات العجيبة فى احد القصور القديمة – التماثيل الناطقة (الصور مأخوذة من كتاب وضعه اثاناسيوس كيرخير عام ١٥٦٠) .

الاصوات فى صالة المسرح

ان من تردد كثيرا على المسارح وقاعات الموسيقى ، يعرف جيدا بان هناك قاعات تسمع فيها الاصوات بنغم جيد ، واخرى تسمع فيها الاصوات بنغم ردئ . وفى بعض تلك القاعات تسمع اصوات الغناء والموسيقى من مسافة بعيدة بوضوح ، وفى البعض الآخر ، لا تسمع الاصوات بوضوح ، حتى من مسافة قريبة .

وفى الماضى القريب ، كان بناء المسرح الذى تعطى صالته اصوات جيدة ، يعتبر من قبيل الصدف السعيدة . وقد وجدت فى الوقت الحاضر وسائل خاصة للتخلص من الارتداد ، الذى يفسد قابلية السمع . وسوف لا نشرح فى هذا الكتاب ، تلك الوسائل ، التى لاتهم سوى المعماريين وحدهم . ونشير هنا الى شيء واحد فقط ، هو

2 Зак 15662

ان وسائل التخلص من الصوت الردئ ، تتلخص فى انشاء سطوح تمتص الصوت الزائد . ان احسن ممتص للصوت ، هو النافذة المفتوحة (كما يعتبر الثقب احسن ممتص للضوء) . حتى ان المتر المربع الواحد من النافذة المفتوحة ، يعتبر بمثابة وحدة لقياس امتصاص الصوت .

ان المشاهدين الموجودين فى صالة المسرح يمتّصون الصوت جيدا ــ مع ان امتصاصهم للصوت ، يقل بمرتين عن امتصاص النافذة المفتوحة ــ ان كل مشاهد يعادل من هذه الناحية ، حوالى نصف متر مربع من النافذة المفتوحة . واذا صحت ملاحظة احد علماء الفيزياء، التى جاء فيها قوله : « ان قاعة المحاضرات تمتص صوت المحاضر بالمعنى الحرفى لهذه الكلمة » . فلا يقل عن ذلك صحة قولنا بان القاعة الخالية ، هى الاخرى غير مرضية بالنسبة للمحاضر ، بالمعنى الحرفى للكلمة ايضا .

واذا كانت درجة امتصاص الصوت ، كبيرة جدا ، فان هذا ايضا يسيء الى قابلية السمع : اولا ، ان امتصاص الصوت بدرجة كبيرة جدا ، يعمل على كتم الاخير ، وثانيا يقلل الارتداد الى درجة ان الاصوات تسمع عندئذ وكأنها متقطعة ، وتولد انطباعا عن وجود بعض الجفاف فى تلك الاصوات . ولهذا ، فاذا توجب علينا التخلص من الارتداد الطويل ، فان الارتداد القصير جدا ، غير مرغوب فيه ايضا . ان قيمة احسن ارتداد بالنسبة لمختلف الصالات ، تكون غير متساوية ، ويجب تثبيتها عند تصميم كل صالة على حدة .

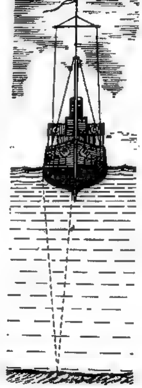
ويوجد فى المسرح شيء آخر طريف من وجهة نظر الفيزياء ، وهو كشك الملقّن . هل لفت نظر القارئ ، الشكل الموّحد لذلك الكشك فى جميع المسارح ؟ ان سبب توحيد الشكل ، يعود الى ان كشك الملقن ، هو جهاز فيزيائى ، فريد فى نوعه . ان عقد الكشك ، هو عبارة عن مرآة صوتية مقعرة ، لها وظيفة مزدوجة ، هى منع الموجات الصوتية المنطلقة من شفتى الملقن ، من الاتجاه نحو الجمهور ، وبالاضافة الى ذلك ، عكس تلك الموجات باتجاه خشبة المسرح .

الصدى وقاع البحر

مرت على الانسان حقبة طويلة من الزمن ، دون ان يستطيع الاستفادة من الصدى ، حتى اخترعت طريقة لقياس عمق البحار والمحيطات بواسطة الصدى . وقد تم اختراع هذه الطريقة بالصدفة . ففى عام ١٩١٢ ، غرقت باخرة الركاب الضخمة « تيتانيك » بجميع ركابها ، نتيجة لاصطدامها المفاجئ بجبل جليدى عائم ، كبير الحجم . ولتجنب مثل هذه الكوارث ، جرت محاولات للاستفادة من الصدى فى اكتشاف الجبال الجليدية العائمة ، الموجودة امام الباخرة ، وذلك عند وجود الضباب او حلول الليل .

لم تنجح هذه الطريقة عمليا ، ولكنها أدت الى فكرة اخرى ، الا وهى قياس عمق البحار ، بواسطة انعكاس الصوت عن قاع البحر . وقد كانت هذه الفكرة ناجحة جدا .

ويبين الشكل ١٥٣ مخططا لهذه العملية . يوضع فى القسم المغمور من السفينة ، مصدر للذبذبات الصوتية . وتنتقل الموجات الصوتية خلال طبقة الماء ، حتى تصل الى القاع ، فتنعكس هناك ، ثم تقفل عائدة من حيث أتت وهى تحمل معها الصدى . ويلتقط الصدى بواسطة جهاز حساس موضوع عند بطن السفينة. وهناك ساعة دقيقة تقيس الفترة الزمنية بين نشوء الصوت وحدوث الصدى . واذا عرفنا سرعة الصوت فى الماء ، يسهل علينا حساب المسافة التى تفصلنا عن الحاجز الذى يعكس الصوت ، اى تعيين عمق البحر او المحيط .



شكل ١٥٣ : رسم تخطيطى يبين عمل المسبار بالصدى (جهاز قياس العمق بالصدى) .

وقد احدث جهاز قياس الاعماق بواسطة الصدى (مسبار بالصدى) ، انقلابا حقيقيا في عمليات قياس اعماق البحار . فقد كان من الممكن استخدام الاجهزة القديمة لقياس الاعماق ، في حالة وقوف السفينة فقط ، علاوة على الفترة الزمنية الطويلة ، التي كانت تستغرقها العملية . كان شريط القياس الملفوف على بكرة ، يغطّس في الماء بسرعة بطيئة (١٥٠ م/دقيقة) ، ويلف ثانية بنفس تلك السرعة تقريبا . وكانت عملية قياس عمق قدره ٣ كم ، بهذه الطريقة ، تتطلب ٤٥ دقيقة . ولكن بمساعدة الجهاز الحديث (المسبار بالصدى) يمكن القيام بنفس العملية في عدة ثوان ، اثناء حركة السفينة ، مع الحصول على نتائج احسن وادق بكثير . ان الخطأ في هذه الحالة لا يزيد على ربع متر (ويحدد الوقت اللازم لذلك، الى درجة من الدقة تصل الى $\frac{١}{٣٠٠٠}$ من الثانية) . فاذا كانت للقياس المضبوط للاعماق الكبيرة ، اهمية كبيرة بالنسبة لعلم جغرافيا المحيطات ، فان امكانية تحديد عمق المياه الضحلة ، بسرعة ودقة ، تمثل عونا حقيقيا لعملية الملاحة البحرية ، حيث تجعلها مأمونة تماما . اذ انه بفضل جهاز المسبار بالصدى ، تستطيع السفينة الاقتراب من الساحل بسرعة واطمئنان .

وفي الاجهزة الحديثة من هذا النوع ، لا تستخدم اصوات عادية ، بل اصوات كثيفة منخفضة جدا ، لا تستطيع اذن الانسان سماعها ، يقدر ترددها بعدة ملايين من الذبذبات في الثانية الواحدة . وتستحدث هذه الاصوات بتذبذب صفيحة من الكوارتز (البيزوكوارتز) ، موضوعة في مجال كهربائي عالي التردد .

ان جهاز المسبار بالصدى ، من النوع الحديث ، اخترع لاول مرة في سنوات الحرب العالمية الاولى ، من قبل العالم الفيزيائي الفرنسي لانجيفين ، لغرض اكتشاف مواقع الغواصات الالمانية .

طنين الحشرات

لماذا يصدر الطنين عن الحشرات ؟ في اكثر الحالات لا تملك الحشرات مطلقا ، اعضاء خاصة تحدثه الطنين ، ولا يسمع الطنين الا عند الطيران . وهذا الامر يعود الى

ان الحشرات عند طيرانها ، تخفق باجنحتها عدة مئات من المرات في الثانية الواحدة . وبذلك يكون الجناح الصغير للحشرة ، عبارة عن صفيحة متذبذبة ، ونحن نعلم ان كل صفيحة سريعة الذبذبة (اكثر من ١٦ ذبذبة في الثانية) ، تحدث نغمة ذات درجة معينة .

والآن سيعلم القارئ ، كيف تم تحديد عدد خفقات جناح هذه الحشرة او تلك ، في الثانية الواحدة عند طيرانها في الجو . للقيام بذلك يكفي ان تحدد باذننا ، درجة النغم الصادر عن تلك الحشرة فقط ، لان لكل نغم ما يلائمه من تردد الذبذبات . وقد اثبت بواسطة « آلة التصوير البطيئة الحركة » — راجع الفصل الاول — ان عدد خفقات اجنحة كل حشرة ، ثابت لا يتغير تقريبا . وعندما تتحكم الحشرة في طيرانها ، فانها تغيّر حجم الخفقة (سعة الذبذبة) وميل الاجنحة فقط . اما عدد الخفقات في الثانية، فيزداد بتأثير البرد فقط . وهذا هو سبب عدم تغيّر النغمة الصادرة عن الحشرات عند طيرانها . لقد وجد مثلا ، ان الذبابة العادية (التي تصدر عنها النغمة ف) ، تقوم في الثانية الواحدة بـ ٢٢٠ خفقة جناح . والنحلة ، التي تصدر عنها النغمة أ ، تقوم في الثانية الواحدة بـ ٤٤٠ خفقة جناح ، عندما تطير بحريّة ، و بـ ٣٣٠ خفقة فقط (النغمة ب) عندما تطير وهي محملة بالعسل . اما الصراصير التي تصدر عنها اثناء طيرانها ، نغمات اقل درجة ، فانها تحرك اجنحتها بشكل اقل رشاقة ، على عكس البعوضة ، التي يتراوح عدد خفقات اجنحتها بين ٥٠٠ — ٦٠٠ مرة في الثانية الواحدة . ولاجل المقارنة ، نذكر هنا ان محرك الطائرة يدور في الثانية الواحدة ٢٥ مرة في المعدّل .

خداع السمع

اذا كنا لسبب ما ، قد تصورنا ان مصدر الضوضاء الخافتة ، لا يقع بالقرب منا ، بل يبعد عنا كثيرا ، فان الصوت يبدو لنا اعلى من ذلك بكثير . ان مثل هذه الحالات من خداع السمع ، تحدث لنا غالبا ، ولكننا لا نلتفت اليها دائما :

واليكم الحادثة الطريفة التالية ، التى وصفها العالم الامريكى ويليام جيمس فى كتابه « علم النفس » :

« حدث مرة ان جلست لأقرأ فى وقت متأخر من الليل ، وفجأة سمعت ضوضاء مزعجة انبعثت من القسم العلوى للمنزل ، ثم انقطعت ، ولكنها انبعثت مرة اخرى بعد دقيقة واحدة . وخرجت الى الصالة لاسمع الضوضاء ، ولكن لم يكن لها اثر هناك . وما ان عدت الى غرفتى وتناولت كتابى ، حتى انبعثت ضوضاء مزعجة قوية ، كتلك التى تسبق العاصفة او الفيضان ، وكانت تنبعث من كل مكان . وخرجت الى الصالة ثانية وانا شديد الانزعاج ، ولكن الضوضاء انقطعت مرة اخرى ايضا .

وعندما كنت عائدا الى غرفتى مرة ثانية ، اكتشفت فجأة ان الضوضاء صدرت عن شخير كلب صغير نائم على الارض ! ...

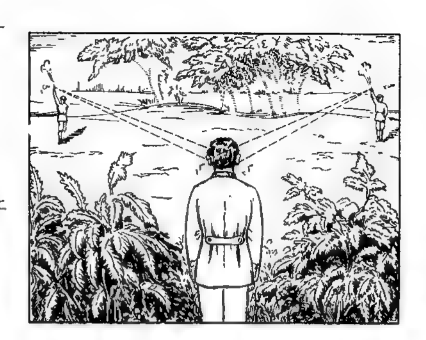
والطريف هنا ، اننى بعد ان اكتشفت السبب الحقيقى للضوضاء ، لم يعد فى استطاعتى ، رغم كل الجهود التى بذلتها ، ان استرجع فى سمعى ، تلك الضوضاء التى حدثت قبل دقائق » .

ولعل القارئ يتذكر حادثة مماثلة ، وقعت له فى حياته . اما انا شخصيا فقد راقبت مثل هذه الحوادث عدة مرات .

اين يصوت الصرصور ؟

كثيرا ما نخطئ ، عندما نعين الاتجاه الذى يأتى منه الصوت ، بدلا من تعيين المسافة التى تفصلنا عن مصدر الصوت .

ان الاذنين تميّزان بوضوح ، صوت الطلقة القادم من اليمين ام من اليسار (شكل ١٥٤) . ولكنهما غالبا ما تعجزان عن تحديد موقع مصدر الصوت ، اذا كان واقعا امامنا او خلفنا تماما (شكل ١٥٥) ، وذلك لان الرصاصة التى تطلق من الامام ، كثيرا ما تسمع وكأنها قد اطلقت من الخلف . اننا فى هذه الحالات ، نستطيع فقط ــ تبعا لقوة



شكل ١٥٤ : من اية جهة اطلقت الرصاصة ؟ من الجهة اليسرى ام من الجهة اليمنى ؟

الصوت – ان نميّز الطلقة البعيدة عن الطلقة القريبة . واليكم التجربة التالية ، التى نستطيع ان نتعلم منها الشيء الكثير .

نربط عينى احد الاصدقاء ، ونجلسه فى وسط الغرفة ، ونطلب منه ان يجلس بهدوء والا يدير رأسه . ثم نأخذ بيدينا قطعتين من النقود ، ونقرع احداهما بالاخرى ، مع المحافظة على وضعهما طوال الوقت ، فى المستوى العمودى التخيلى ، الذى يمر بين

شكل ١٥٥ : من اين اطلقت الرصاصة ؟ من الامام ام من الوراء ؟

عيني ذلك الصديق ، ويقسم رأسه الى نصفين متساويين . ثم اطلب من صديقك ان يحاول تعيين موقع قطعتي النقود الرنانتين . فاذا كان الرنين صادرا من احدى زوايا الغرفة ، فان ذلك الصديق سيشير الى الزاوية المقابلة لها تماما ! واذا حرفنا القطعتين الرنانتين عن المستوى المذكور ، فان الخطأ سوف لا يكون كبيرا في هذه الحالة . وهذا شيء مفهوم ، ذلك لان الاذن القريبة ستسمع الصوت بصورة اسرع قليلا واعلى من السابق ، وبفضل ذلك ، يستطيع الصديق المذكور تعيين مصدر الصوت .

وهذه التجربة ، توضح لنا بالمناسبة ، لماذا يصعب علينا تعيين موضع الصرصور ، الذي يصوت في العشب . ان الصرصرة الحادة تسمع على بعد خطوتين منا ، الى يمين الطريق . ونوجه نظرنا الى مصدر الصوت ، ولكننا لا نرى شيئا ، بل نسمع الصوت آتيا من الجهة اليسرى للطريق . وعندما ندير رأسنا الى تلك الجهة ، نسمع الصوت آتيا من جهة ثالثة مختلفة . وكلما ادرنا رأسنا بسرعة ، الى الجهة التي ينبعث منها الصرير ، كلما خفت (تهادت) قفزات ذلك الموسيقي المختفي . ولكن في الحقيقة ، تكون الحشرة جالسة في مكان واحد . اما قفزاتها المدهشة ، فهي من بنات افكارنا وتصوراتنا الناجمة عن خداع السمع . ان الخطأ الذي نرتكبه هنا ، يتلخص في اننا ندير رأسنا ، بطريقة تجعل الصرصور يقع في مستوى التماثل العمودي لرأسنا . وفي هذه الحالة ، كما نعلم ، يسهل الوقوع في الخطأ عند تعيين اتجاه الصوت . اذ ان صرصرة الصرصور تنبعث امامنا ، ولكننا نعتقد خطأ بانها تنبعث من الجهة المقابلة .

ومن هنا نتوصل الى النتيجة العملية التالية :

اذا اردنا تحديد المكان الذي تنبعث منه صرصرة الصرصور وتغريد الطير ، وما شابه ذلك من الاصوات القادمة من بعيد ، فلا يجب ان ندير وجوهنا نحو الصوت ، بل نديرها الى جهة اخرى مختلفة . وبالمناسبة ، فاننا نقوم بذلك في الواقع ، عندما « ننّصب اذنينا » ، كما يعبر عن ذلك .

عندما نقضم الخبز اليابس باسناننا ، نسمع صوتا يصم الأذن ، بينما يقضم الشخص الجالس بقربنا نفس الخبز ، بدون حدوث اى صوت مزعج . كيف تمكن جارنا من التخلص من ذلك الصوت ، وباية حيلة ؟

يتلخص الامر فى ان الضوضاء والصرصرة ، تصلان الى آذاننا فقط ، ولا تقلقان آذان جيراننا الا قليلا جدا . ان عظام الجمجمة ، مثل بقية الاجسام الصلبة الاخرى بصورة عامة ، هى اجسام مرنة ، توصل الصوت بصورة جيدة جدا . والصوت بدوره يصبح احيانا قويا جدا ، عند مروره فى وسط صلب (كثيف) . وعندما تصل الصرصرة الى الاذن عن طريق الهواء ، تتقبلها الاخيرة على هيئة ضوضاء خفيفة ، ولكن هذه الصرصرة بالذات ، تتحول الى قعقعة عندما تنتقل الى عصب السمع عن طريق عظام الجمجمة الصلبة . واليكم تجربة اخرى فى هذا المضمار : نضغط باسناننا على حلقة ساعة الجيب ، ونسد آذاننا جيدا باصابعنا . وفى هذه الحالة سوف نسمع ضربات ثقيلة . اذ يرتفع صوت دقات الساعة .

ويقال بان الموسيقار الالمانى العظيم بيتهوفن ، كان وهو اطرش ، يسمع العزف على البيانو ، بوضع احد طرفى عصاه على البيانو ، ووضع الطرف الآخر قرب اسنانه . وبنفس الطريقة ، يستطيع اولئك الطرش الذين سلمت اذنهم الداخلية ، ان يرقصوا على انغام الموسيقى ، لان الاصوات تصل الى اعصابهم السمعية عن طريق الارض والعظام .

«اعاجيب التكلم من البطن»

ان الاعاجيب المدهشة ، التى يقوم بها المتكلمون من بطونهم ، مبنيّة على نفس خصائص السمع ، التى تحدثنا عنها ، فى الصفحات ٢٦٤ — ٢٦٨ .

لقد كتب البروفيسور جامبسون ما يلى : « اذا سار احد الاشخاص على قمة السطح ، فان صوته يحدث فى داخل الدار ، همسا خافتا . وكلما ابتعد عن القمة باتجاه الحافة ،

زاد خفوت الهمس . واذا جلسنا في احدى غرف الدار ، فان اذننا لا تستطيع تمييز اتجاه الصوت وبعد مصدره عنا . ولكن تبعا لتغيّر الصوت ، يستنتج عقلنا بان مصدره يبتعد عنا . اما اذا اخبرنا الصوت بالذات ، بان صاحبه يسير فوق السطح ، فاننا سنصدق ذلك بسهولة . واخيرا ، اذا تحدث احد الاشخاص مع الشخص صاحب الصوت ، من خارج ذلك المكان ، وحصل منه على بعض الاجوبة التوضيحية ، لكانت الصورة واضحة امامنا تماما . '

وهذه هي الشروط ، التي تلائم عمل المتكلم من بطنه . وعندما يأتي دور الكلام الى الشخص الموجود فوق السطح ، فان الشخص المتكلم من بطنه يدمدم بصوت خافت . اما عندما يصله الدوز في الكلام ، فانه يتكلم بصوت واضح وقوى ، لكى يخفى التباين مع بقية الاصوات . ان محتوى ملاحظاته واجوبة محدثه المزعوم ، تقوّى الصورة الخيالية . ان نقطة الضعف الوحيدة في هذه الخدعة ، ربما تكون بادية من كون الصوت الموهوم للشخص الموجود في الخارج ، يصدر في الواقع عن شخص موجود على خشبة المسرح ، اى يكون اتجاهه مزورا .

« ويجب كذلك ان نلاحظ بان اسم المتكلم من بطنه ، هو اسم لا يلائم واقع الحال . ويجب على المتكلم من بطنه ان يخفى عن مستمعيه ، تلك الحقيقة التى تظهر عندما يأتى دور الكلام الى زميله ، يقوم هو بالكلام فى الواقع . ولهذا الغرض يستخدم مختلف الحيل . ويحاول بالاستعانة بمختلف انواع الإشارات ، ان يصرف عنه انتباه المستمعين . وعندما ينحنى جانبا ويقرب يده من اذنيه ، كما لو كان يسترق السمع ، فانه يحاول اخفاء شفتيه عن الانظار قدر استطاعته . وعندما لا يستطيع اخفاء وجهه ، فانه يحاول القيام بحركات الشفاه الضرورية فقط . ومما يساعده على ذلك هو ان الشيء المطلوب فى معظم الاحيان يعتبر همسا خافتا غير واضح . وتخفى حركات الشفاه بصورة جيدة ، بحيث تجعل بعض الناس يعتقدون بان صوت الفنان يخرج من مكان ما في جوفه — ومن هنا اشتق اسم : المتكلم من بطنه .

وهكذا نرى ان العجائب المزعومة للتكلم من البطن ، مبنية كليا على اساس اننا لا نستطيع ان نحدد اتجاه الصوت بدقة ، او بعد مصدره عنا . وفى الاحوال العادية ، نتوصل الى ذلك بصورة تقريبية فقط ، ولكننا اذا كنا فى وضعية غير طبيعية لتقبل الصوت، فسوف نرتكب خطأكبيرا فيما يتعلق بتعيين مصدر الصوت . وعندما كنت شخصيا اراقب الشخص الذى يتكلم من بطنه ، لم يكن بمقدورى ان اشك فى الخدعة ، بالرغم فى اطلاعى التام على جلية الامر .